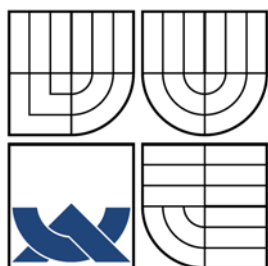


DIPLOMOVÁ PRÁCE

Josef Mikyska



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA ARETAČNÍ PÁKY PŘESNÝM STŘÍHÁNÍM

THE MANUFACTURE OF HOLD-DOWN ARM BY TECHNOLOGY OF FINE BLANKING PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JOSEF MIKYSKA

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ

BRNO 2008

---

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2007/08

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Mikyska Josef

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Výroba aretační páky přesným stříháním**

v anglickém jazyce:

#### **The manufacture of hold-down arm by technology of fine blanking process**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby aretační páky, která je součástí vstřikovacího čerpadla. Součást je podlouhlého tvaru s vnitřními kruhovými otvory vyrobena z plechu tloušťky 3 mm. Zadaná součást bude vyráběna technologií přesného stříhání a na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie a potřebné výpočty.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii přesného stříhání. Zhodnocení současné technologie výroby. Návrh nové technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, návrh a volba stroje. Návrh vhodného nástroje pro výrobu zadané součásti. Porovnání nově navržené technologie s technologií stávající, doplněné technicko-ekonomickým hodnocením. Závěr.

## Seznam odborné literatury:

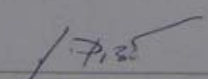
1. NOVOTNÝ, Josef. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
2. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.

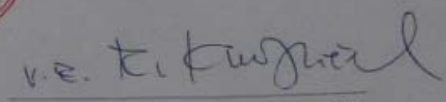
Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Šmehlíková

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 13.11.2007



  
doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

MIKYSKA Josef: Výroba aretační páky přesným stříháním.

---

Diplomový projekt zpracovává inovační technologii „ARETAČNÍ PÁKY“ technologií přesného stříhání. Součást je vyrobena z ocelového plechu ČSN 12 041.20 tloušťky 3 mm. Teoretická část popisuje možnosti řešení. V projektu jsou porovnány varianty technologie přesného stříhání. Vzhledem k požadované rozměrové přesnosti, kvalitě povrchu a předpokládané sériovosti 600 000 kusů za rok byla pro inovační technologii navržena technologie přesného stříhání s nátlakovou hranou. Na základě technologických výpočtů byl stanoven trojčinný hydraulický lis GKP – F 100 (výrobce Feintool) a střížný nástroj. Konstrukce střížného nástroje je doplněna výkresovou dokumentací. Projekt dále obsahuje technicko – ekonomické zhodnocení stávající technologie (konvenční stříhání s následným obráběním) s nově navrženou technologií. Z rozboru plyne ekonomická a časová úspora při použití nově navržené technologie výroby.

Klíčová slova: Plošné tváření, přesné stříhání, nátlaková hrana, ocel 12 041.

**ABSTRACT**

MIKYSKA Josef: The manufacture of hold-down arm by technology of fine blanking process.

---

The diploma thesis deals with innovative technology of „hold-down arm“ by fine blanking technology. The component is made of steel plate no. 12 041.20, 3mm thick. The theoretical part presents possible solutions. In the project there are compared versions of fine blanking technology. Regarding the required size accuracy, surface quality and assumed series production of 600 000 pieces per year the fine blanking technology using V-ring was proposed as the innovative technology. On the basis of technological calculations the triple action hydraulic press GKP-F 100 (produced by Feintool) and a blanking tool were determined. The blanking tool solution is accomplished including calculations and further documentation. Then, the project implies technical and economical evaluation of the present technology (conventional blanking with consequential cutting) and of the newly designed technology. According to the analysis using the newly designed production technology economic and time savings are achieved.

Keywords: Surface forming, fine blanking process, V – ring, steel no. 12 041.

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKYSKA Josef: *Výroba aretační páky přesným stříháním*. Brno, 2008. 97 s, Příloh 27, CD., FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Šmehlíková.

---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 15. 5. 2008

.....  
Podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Šmehlíkové a Markétě Moravcové, DiS. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

## OBSAH

**Zadání**

**Abstrakt**

**Čestné prohlášení**

**Poděkování**

**Obsah**

	Strana
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. LITERÁRNÍ STUDIE .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Technologie plošného stříhání .....</b>	<b>11</b>
2.1.1 Proces stříhání .....	11
2.1.2 Průběh napjatosti střížného procesu .....	12
2.1.3 Vliv střížné vůle na střížný proces .....	13
2.1.4 Střížná síla při procesu stříhání .....	14
2.1.5 Střížná práce při procesu stříhání .....	15
2.1.6 Zhodnocení technologie běžného stříhání .....	15
<b>2.2 Technologie přesného stříhání a její varianty .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Stříhání (vystřihování) se zaoblenou střížnou hranou .....	16
2.2.2 Stříhání (vystřihování) se zkoseným přidržovačem .....	16
2.2.3 Přistřihování .....	17
2.2.4 Kalibrování .....	18
2.2.5 Přesné stříhání s nátláčnou hranou .....	18
<b>2.3 Technologie přesného stříhání s nátláčnou hranou .....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Princip přesného stříhání .....	19
2.3.2 Postup přesného stříhání .....	19
2.3.3 Rozbor stavu napjatosti při přesném stříhání .....	21
2.3.4 Rozbor stavu napjatosti od nátláčné hrany .....	21
2.3.5 Působící síly při přesném stříhání .....	23
2.3.6 Vynaložená práce při přesném stříhání .....	24
2.3.7 Základní technologické parametry přesného stříhání .....	25
2.3.8 Vady výstřížků při přesném stříhání .....	34
2.3.9 Materiál polotovaru pro technologii přesného stříhání .....	35
2.3.10 Nástroje pro přesné stříhání .....	36
2.3.11 Lisy pro přesné stříhání .....	47
<b>3. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY SOUČÁSTI .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1 Zadaná součást .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Stávající technologický postup výroby aretační páky .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 Rozbor stávající technologie .....</b>	<b>50</b>
<b>4. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Nově navržený technologický postup výroby aretační páky .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Kontrola vhodnosti zadané součásti .....</b>	<b>52</b>
4.2.1 Kontrola vhodnosti zpracovatelského materiálu .....	52
4.2.2 Kontrola předepsané rozměrové přesnosti a drsnosti povrchu .....	52
4.2.3 Kontrola technologičnosti tvaru zadané součásti .....	53
<b>4.3 Technologické a kontrolní výpočty .....</b>	<b>53</b>
4.3.1 Výpočet délky pásu namotaného do svitků plechu .....	53
4.3.2 Nástřihový plán .....	54
4.3.3 Výpočet počtu svitků potřebných za rok .....	56
4.3.4 Volba nátláčné hrany .....	56



4.3.5	Střižná vůle .....	56
4.3.6	Výpočet sil pro přesné stříhání .....	57
4.3.7	Výpočet práce při přesném stříhání .....	58
4.3.8	Pevnostní výpočty nástroje .....	58
4.3.9	Upevnění střižníku .....	60
4.4	Návrh stroje .....	61
4.5	Návrh střižného nástroje .....	63
5.	POČÍTAČOVÁ SIMULACE .....	64
5.1	Simulační program .....	64
5.2	Výstup simulace .....	64
6.	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	68
6.1	Technické zhodnocení .....	68
6.2	Ekonomické zhodnocení .....	68
6.2.1	Vstupní hodnoty .....	68
6.2.2	Náklady na materiál .....	69
6.2.3	Náklady na nástroj .....	71
6.2.4	Náklady na přímé mzdy a kritické množství kusů .....	73
6.2.5	Celkové roční náklady na mzdy a režii .....	73
6.2.6	Ukazatele efektivnosti .....	73
6.2.7	Zhodnocení .....	74
7.	ZÁVĚR .....	75

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

---

## 1. ÚVOD

Lidstvo na počátku 21. století se snaží o cílené uspokojování svých potřeb. Velkou roli při uspokojování lidských potřeb hraje strojírenství. Toto odvětví průmyslu vytváří většinu hmotných věcí. Při neustále se zvětšující poptávce strojírenských produktů přicházejí do praxe nové výrobní technologie. V hromadných a sériových výrobach se opouští od tradiční technologie obrábění, jež je nahrazována technologií tváření. Obrábění je častokrát pracné, zdlouhavé a ekonomicky nevýhodné.

Technologií tváření se zhotovují výrobky na malý počet výrobních operací, vyráběná součást má příhodné mechanické vlastnosti a výroba není časově náročná. Dílce, které jako výchozí polotovary mají plechový přístřih, jenž během tvářecí operace nemění svoji tloušťku, lze vyrábět plošným tvářením. Plošné tváření probíhá za studena ve speciálních nástrojích. Nástroje jsou upnuty na lisu, který je dnes konstruován jako vysoce výkonný a je ovládán pomocí řídicího programu. Díky zapojení výpočetní techniky do ovládání lisu lze tyto technologie snadno a účelně automatizovat. Do technologie plošného tváření lze zahrnout i technologii přesného stříhání, kterou se zabývá tento projekt.

Při technologii přesného stříhání vznikají na každý zdvih lisu přesné a reprodukovatelné plechové díly, které nevyžadují dodatečné výrobní operace. Ve většině případů lze tyto dílce okamžitě montovat. Technologie přesného stříhání je svým základem stejná jako běžné stříhání ve stříhadlech. Avšak díky změně charakteru stavu napjatosti v oblasti stříhu, který se získá pomocí nátlčných hran, vznikají součásti s vysokou rozměrovou přesností, rovinností a střížnou plochou bez trhlinek s nízkou drsností povrchu. Nástroje pro přesné stříhání pracují na speciálních trojčinných hydraulických nebo mechanicko – hydraulických lisech. Mezi nejvýznamnější výrobce těchto lisů patří švýcarská firma Feintool. Firma Feintool se nezaměřuje pouze na výrobu lisů, ale je vůdčí firmou pro zajišťování kompletní technologie přesného stříhání. Součásti vyrobené technologií přesného stříhání lze nalézt ve všech oblastech spotřebního i výrobního průmyslu. Díly zaručují funkčnost, bezpečnost a jednoduchost používání u spotřebičů v domácnosti, v automobilové technice a v mnoha dalších odvětvích průmyslu. Velmi rozšířené využití technologie přesného stříhání je při výrobě ozubených kol, ozubených hřebenů a jemné mechaniky. Vždy technologie přesného stříhání zajišťuje bezpečnost, životnost a funkčnost výstřižku v souladu s vysokou produktivností, hospodárností a bezpečností výroby.

## 2. LITERÁRNÍ STUDIE

Cílem literární studie je přehledně a srozumitelně vysvětlit proces stříhání ve střížných nástrojích. Popsat jednotlivé technologie stříhání a konstrukční zásady pro výrobu střížných nástrojů.

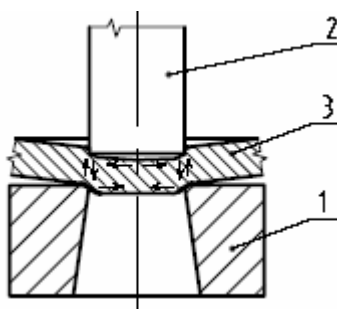
### 2.1 TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO STŘÍHÁNÍ

Stříhání kovů je technologická operace, která se provádí za účelem dělení materiálu. Materiál se odděluje současně nebo postupně podél křivky stříhu pomocí břitů nožů, které se pohybují proti sobě. Díky pohybu nožů je vyvoláno v materiálu potřebné střížné – smykové napětí. Pro získání kvalitního stříhu je třeba zajistit určité podmínky, zejména ostří nožů, velikost střížné mezery, správnou střížnou sílu, vhodný stříhaný materiál a způsob stříhání. Při nesplnění těchto podmínek dochází k velmi nekvalitní střížné ploše a rychlému opotřebení nástroje, ale i vylomení břitů, které může vést i k zničení nástroje.

#### 2.1.1 Proces stříhání [1], [2], [3], [4]

Operace stříhání začíná tím, že střížník dosedne na stříhaný materiál (plech) ležící na střížnici, a končí oddělením materiálu. Celý proces lze rozdělit do tří základních fází (pružná deformace, plastická deformace, oddělení materiálu).

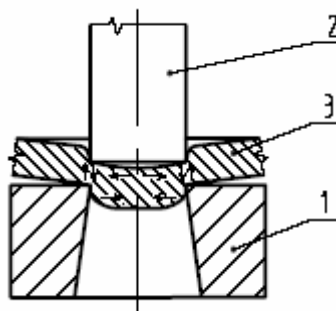
Fáze I – při vnikaní střížníku do stříhaného materiálu se materiál v oblasti stříhu nejprve plasticky deformuje, protože střížník působí napětím, které je menší než mez kluzu  $R_e$ . Hloubka vniku střížníku do materiálu závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a bývá 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu. V každé rovině, kolmé ke střížné ploše a rovině rovnoběžné se směrem stříhání, působí dvojice sil, viz. obr. 2.1. Materiál se ohýbá a dochází k zaoblení stříhaného materiálu na straně střížníku vtažením a na straně střížnice vytlačení materiálu.



Obr. 2.1 První fáze stříhání – oblast pružné deformace [1]

1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – stříhaný materiál

Fáze II – ve druhé fázi vznikne ve stříhaném materiálu napětí větší, než je mez kluzu a dochází k trvalé deformaci, viz. obr. 2.2. Hloubka vniknutí nástroje do materiálu je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a pohybuje se v rozmezí 10 až 25 % tloušťky materiálu. Na konci druhé fáze dosahuje napětí v materiálu hodnoty meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ .



Obr. 2.2 Druhá fáze stříhu – oblast trvalé deformace [1]

1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – stříhaný materiál

**Fáze III** – v této fázi je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ . Protože největší napětí je na břitě, vzniknou první trhlinky v tomto místě. Nejprve vzniknou mikroskopické a potom makroskopické trhlinky. Při dalším pohybu střížníku vznikají další trhliny, které jsou podporovány tahovým napětím ve směru vláken. Spojením trhlín dojde k oddělení výstřížku požadovaného tvaru a rozměru. Časový průběh šíření trhlín závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Tvrdý a křehký materiál se odděluje rychleji než měkký a houževnatý materiál.

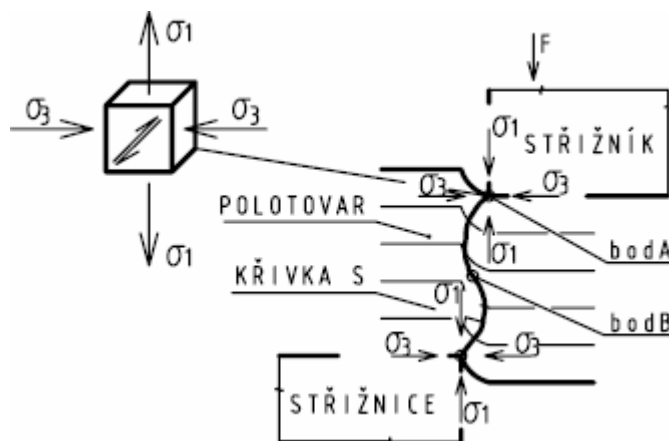
### 2.1.2 Průběh napjatosti střížného procesu [1], [2], [3], [4]

Napětový stav ve stříhaném plechu lze pro velkou šířku plechu zjednodušit na rovinný stav. Tohoto zjednodušení bylo zjištěno výzkumem na břitě. Při tomto zjednodušení působí na ploše břitů směrem na materiál hlavní tlakové napětí  $\sigma_1$ , hlavní tlakové napětí  $\sigma_3$  a maximální smykové napětí  $\tau_{\max}$  vyvolané třením v kontaktních plochách břitů a materiálu. Napětový stav pro oblast plastické deformace v místě stříhu je zobrazen na obr. 2.3. Platí:

$$\sigma_3 = -\frac{\sigma_1}{2} \text{ [MPa]} \quad (2.1)$$

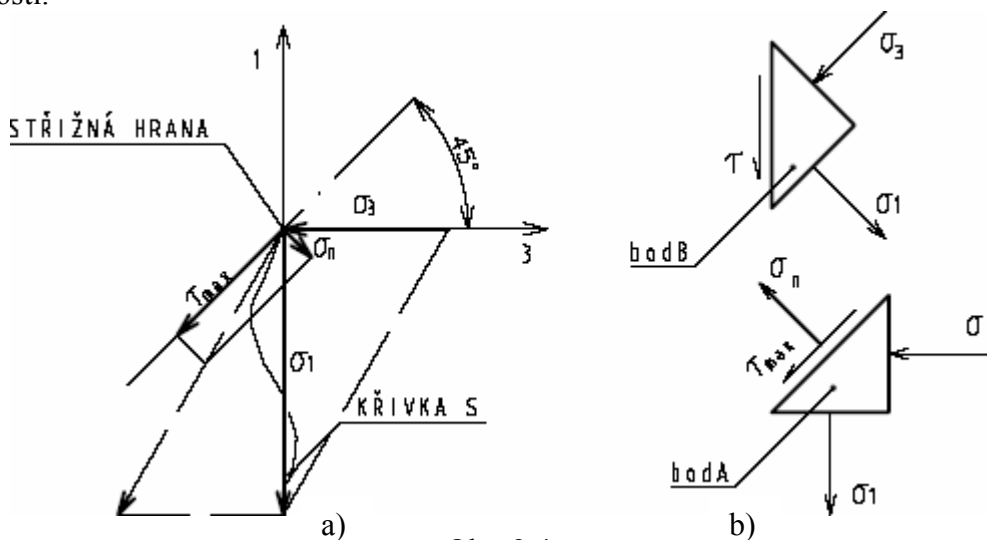
$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2} \sigma_3 \text{ [MPa]} \quad (2.2)$$

Směr i velikost hlavních napětí se směrem dovnitř materiálu mění. Změnu směru hlavních os napětí naznačuje křivka S (viz. obr. 2.3), která je místem budoucí dělicí plochy – hlavní osy jsou k této čáře skloněny o  $45^\circ$ .



Obr. 2.3 Napětový stav – plastická deformace [4]

Při uvedeném zjednodušení na rovinný stav napjatosti vzniká  $\tau_{\max}$  v rovině skloněné k hlavním osám o  $45^\circ$ , viz. obr. 2.4 a). Změnu směru působení  $\tau_{\max}$  udává křivka S. Kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí kladná normální složka napětí  $\sigma_n$ , která se při šíření trhlin po nástřihu podílí na jejich rozevírání. Poměr hlavních napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  směrem do středu střížné plochy se mění a právě uprostřed v bodě B, viz. obr. 2.3, platí, že  $\sigma_1 = |\sigma_3|$  a jsou splněny podmínky čistého smyku, kdy  $\sigma_n = 0$ , viz. obr. 2.4 b). K největšímu přetvoření dochází na střížných hranách, směrem do materiálu se deformace zmenšuje. Při postupu střížného nože do záběru, se tvařitelnost materiálu vyčerpá a dojde k porušení jeho soudržnosti.

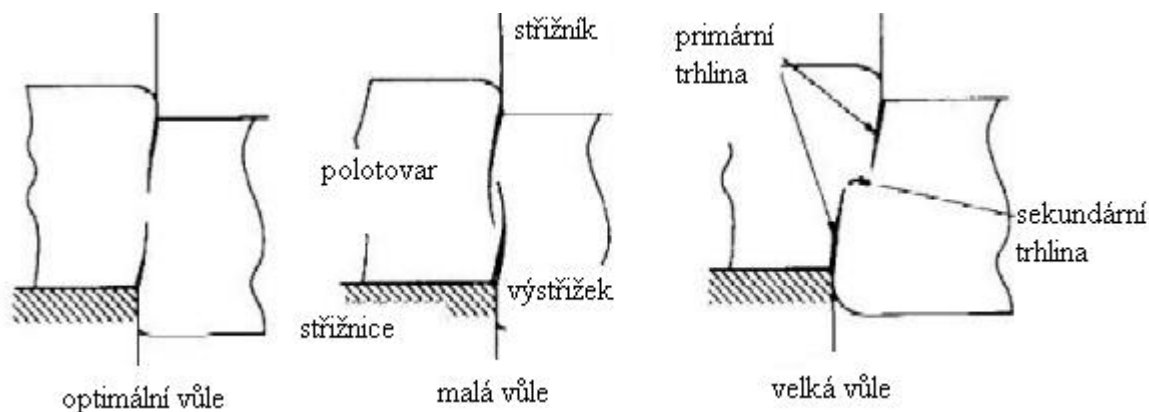


Obr. 2.4

a) Rozklad hlavních napětí [4], b) Napětový stav – bod A, B [4]

### 2.1.3 Vliv střížné vůle na střížný proces [1], [3], [10]

Kvalita střížné plochy, velikost střížné síly a velikosti opotřebení nástroje jsou hlavní faktory, které mají vliv na volbu střížné vůle ( $v$ ) mezi střížníkem a střížnicí. Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem pracovních částí střížníku a střížnice. Střížná mezera ( $z$ ) je polovina střížné vůle. Při optimální střížné vůli se trhlínky směřující od střížných hran plynule setkají a tím se materiál oddělí při minimální střížné síle. Při malé i velké střížné vůli, viz. obr. 2.5, se kvalita střížné plochy snižuje. Pro správnou výrobu kvalitních výstřížků je nutné zajistit stejnou velikost střížné mezery po celém obvodu střížné hrany. Při malé střížné mezeře se podle autora [10] mírně zvětšuje střížná síla, ale dochází k nárůstu střížné práce až o 40 %. Při konvenčním stříhání bývá střížná vůle 5 – 15 % tloušťky stříhaného materiálu. Pro technologie zaručující kvalitní povrch výstřížku je střížná vůle mnohonásobně menší.



Obr. 2.5 Střížná vůle [2]

### 2.1.4 Střížná síla při procesu stříhání [1], [3], [10]

Střížná síla je síla, kterou působí lis na střížník, který následně vyvodí ve stříhaném materiálu mez pevnosti ve stříhu. Díky působení střížné síly se dosáhne vystřížení výstřížku.

Faktory ovlivňující střížnou sílu:

- střížná vůle,
- naostření střížných hran,
- úhel sklonu střížných hran,
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu (mez pevnosti ve stříhu),
- hloubka vniknutí střížníku do stříhaného materiálu.

Pro výstřížky, které volně propadávají střížnicí autor [10] udává vztah pro výpočet střížné síly:

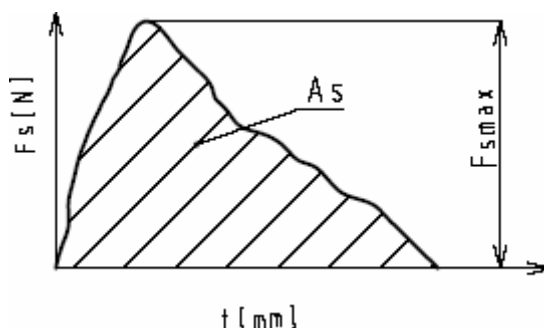
$$F_S = S \cdot \tau_s \cdot n = t \cdot l \cdot \tau_s \cdot n \quad (2.3)$$

kde:  $F_S$  – střížná síla [N]  
 $S$  – střížná plocha [mm<sup>2</sup>]  
 $\tau_s$  – mez pevnosti ve stříhu [MPa]  
 $n$  – opravný koeficient  
 $t$  – tloušťka materiálu [mm]  
 $l$  – délka křivky stříhu [mm]

Opravný koeficient  $n$  zahrnuje vnější vlivy při stříhání (nerovnoměrnost tloušťky stříhaného materiálu, otupení nástroje, tření mezi materiálem a střížníkem). Pro konvenční stříhání je koeficient  $n = 1 - 1,3$ .

Snížení střížné síly lze dosáhnout odstupňováním délky střížníků nebo úpravou střížné hrany střížníku, střížnice. Dle autora [9] lze střížnou sílu snížit až o 30 %.

Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku je na obr. 2.6. V počáteční fázi střížná síla prudce stoupá, materiál je pružně deformován a dochází ke zpevňování materiálu. Maximální střížná síla je dosažena, když střížník dosáhne maximální hloubky vniknutí (10 – 25 % tloušťky materiálu). Poté střížná síla plynule klesá. Charakter klesání střížné síly závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a střížné vůli (u tvrdých a křehkých materiálů střížná síla prudce klesá, u měkkých a houževnatých materiálů střížná síla klesá pozvolna).



Obr. 2.6 Závislost střížné síly na dráze střížníku [10]

### 2.1.5 Střížná práce při procesu stříhání [1], [3], [10]

Střížná práce je rovna ploše pod křivkou (graf závislost střížné síly na dráze střížníku), viz. obr. 2.6. Dle autora [10] lze střížnou práci vypočítat dle vztahu:

$$A_s = \frac{F_{s\max} \cdot t \cdot \lambda}{1000} \quad (2.4)$$

kde:  $A_s$  – střížná práce [J]  
 $F_{s\max}$  – maximální střížná síla [N]  
 $t$  – tloušťka materiálu [mm]  
 $\lambda$  – koeficient zaplnění plochy pod křivkou (0,4 – 0,7)

Při stříhání nízkouhlikové oceli lze závislost střížné síly na dráze střížníku nahradit částí elipsy. Pro střížnou práci platí:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{F_{s\max} \cdot e}{1000} F_s \cdot e \quad (2.5)$$

kde:  $A_s$  – střížná práce [J]  
 $F_{s\max}$  – maximální střížná síla [N]  
 $e$  – hloubka vniknutí střížníku do materiálu v okamžiku porušení [mm]

Hodnotu  $e$  lze pro různé materiály a různou vůli nalézt v tabulkách nebo odečíst z nomogramů.

### 2.1.6 Zhodnocení technologie běžného stříhání

Tato technologie je velmi rozšířená a každý strojírenský podnik využívá některé výstřižky zhotovené touto technologií. Technologií lze zhotovovat různé podložky, držáky, transformátorové plechy a mnoho dalších dílů. Technologie je vhodná pro sériovou a hromadnou výrobu, protože lze snadno automatizovat.

Zásadním nedostatkem technologie je:

- nízká dosahovaná přesnost výstřižků IT 12 – IT 14,
- nízká dosahovaná drsnost povrchu  $R_a = 6,3 - 3,2 \mu\text{m}$  při vystřihování a  $R_a = 12,5 - 6,3 \mu\text{m}$  při děrování,
- velká deformace výstřižků,
- značné zaoblení hran podél stříhaného obvodu.

Pro výstřižky, na které je kladena větší rozměrová a geometrická přesnost, lze využít technologie přesného stříhání, které odstraňují nebo eliminují nedostatky běžného stříhání.

## 2.2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ A JEJÍ VARIANTY [5]

Technologiemi přesného stříhání lze zhotovit z plechů a pásů ve stříhadlech výstřižky, jež dosahují hladké střížné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrové přesnosti vyrobené součásti v rozmezí IT 6 až IT 9. Tyto technologie jsou ekonomicky vhodné pro součásti, jež mají velké procento odpadu a vyžadují mnoho dokončovacích operací (vystružování, broušení, protahování, kalibrování...).

Rozeznáváme tyto metody přesného stříhání:

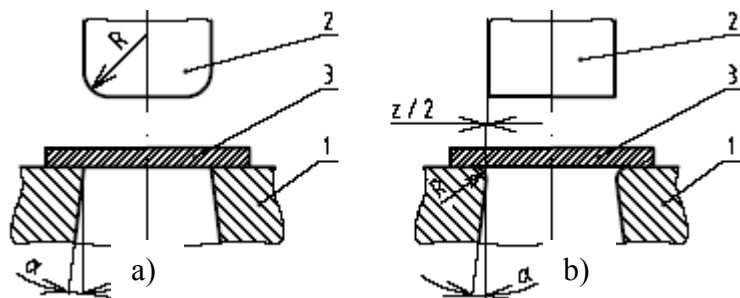
- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- stříhání se zkoseným přidržovačem,
- přistříhování,
- kalibrování,
- přesné stříhání s nátlacnou hranou.

### 2.2.1 Stříhání (vystříhování) se zaoblenou střížnou hranou [2], [5], [10]

Při této technologii je omezen vznik střížné trhliny ve stříhaném materiálu pomocí zaoblení na hraně střížnice nebo střížníku. Při stříhání se zaoblenými střížnými hranami na střížnici nebo střížníku se dosáhne hladké a kolmé střížné plochy, neboť materiál je při stříhu částečně dopředně protlačován.

V místě stříhu vzniká dvojosý stav napjatosti. Vliv zaoblení střížné plochy je tím větší, čím menší je střížná mezera. Zaoblení střížné hrany se pohybuje mezi 15 až 20 % tloušťky materiálu dle tvaru součásti. Při velkém zaoblení dochází k negativnímu průhybu výstřížku. Dochází zde ke zvětšení střížné síly asi o 15 % oproti konvenčnímu způsobu stříhání, proto je nutné střížnici bandážovat. Touto technologií je vhodné zpracovávat materiály s dostatečnou tvárností. Dobře se zpracovává měkká ocel, mosaz, hliník a jeho slitiny. Dosahovaná přesnost při stříhání je v rozmezí IT 9 až IT 11. Drsnost střížné plochy odpovídá  $R_a = 0,4$  až  $1,6 \mu\text{m}$ .

Konstrukce nástrojů, viz. obr. 2.7, se zásadně neliší od konstrukce normálních stříhadel. Je ale nutné zajistit přesné vedení horní a dolní části střížného nástroje. K tomuto účelu se používají čtyřsloupkové vodící stojánky s kuličkovým vedením.



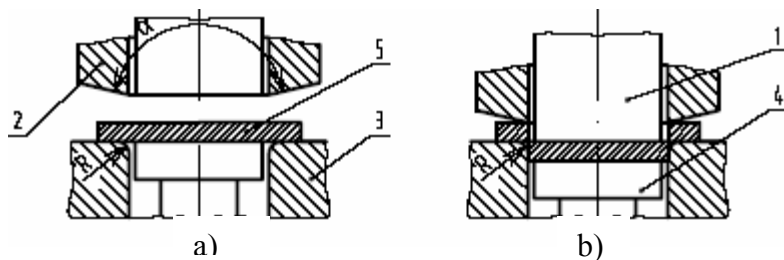
Obr. 2.7 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [5]

a) Děrování, b) Vystříhování

1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – stříhaný materiál

### 2.2.2 Stříhání (vystříhování) se zkoseným přidržovačem [2], [5]

Tato technologie je málo využívána. K vyvození dvojosého stavu napjatosti slouží zkosený přidržovač. Přidržovač svírá stříhaný materiál k ploše střížnice. Vrcholový úhel přidržovače bývá  $\alpha = 178^\circ 30'$ . Poloměr zaoblení na střížné hraně je  $R \leq 0,01 \text{ mm}$ .



Obr. 2.8 Stříhání se zkoseným přidržovačem [5]

a) Výchozí poloha, b) Konečná poloha

1 – střížník, 2 – přidržovač, 3 – střížnice, 4 – vyhazovač, 5 – stříhaný materiál



### 2.2.3 Přistřihování [2], [5], [10]

Tato technologie následuje po konvenčním stříhání nebo obrábění. Při přistřihování je odděleno malé množství kovu (třísky) ze střížné plochy s cílem dosažení větší přesnosti výstřižku a kvality povrchu střížné plochy, plochy bez mikrotrhlinek, zpevnění a vnitřního pnutí. Přídavek na přistřihování je 0,1 až 0,5 mm. Přídavek musí být rozložen rovnoměrně po obvodu. Při ostrých přechodech, velkých a nerovnoměrných přídavcích dochází k vytrhávání materiálu. Přistřihování lze provádět jak po otevřené, tak i uzavřené čáře stříhu. Doporučuje se přistřihovat ve stejném směru, jak bylo předchozí stříhání, neboť proti směru se může materiál vytrhávat. Technologie není vhodná pro velkosériovou výrobu.

Vhodným materiálem pro přistřihování jsou polotvrdé a tvrdé uhlíkové oceli. Méně kvalitní střížné plochy se dosahuje u měkkých materiálů, protože jsou náchylné na vytrhávání. U tvrdých materiálů lze dosáhnout  $R_a = 0,6 - 1 \mu\text{m}$ .

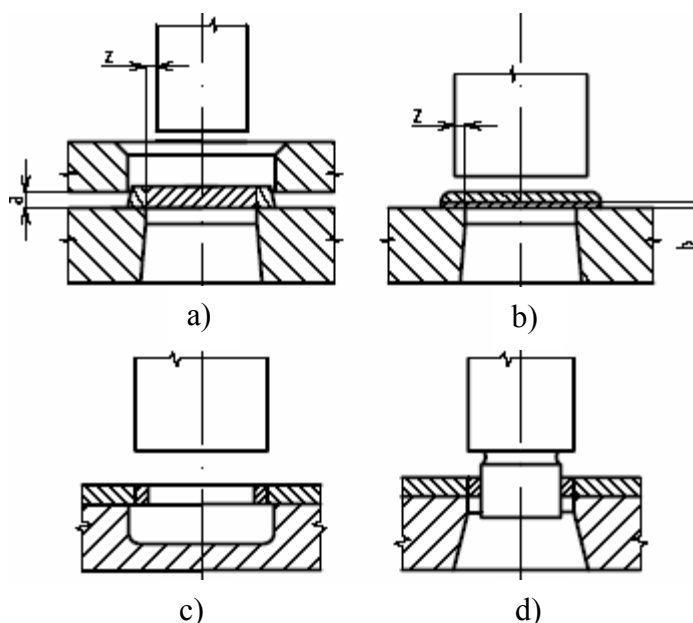
Schéma přistřihování vnějších obrysů výstřižku s kladnou vůlí je na obr. 2.9 a). Polotovar je středěn pomocí zakládací desky nebo nepřistřihovaných otvorů. Mezi zakládací deskou a střížnicí musí být dodržena vzdálenost  $a$ , aby třísky měly možnost do tohoto prostoru odcházet.

Schéma přistřihování vnějších obrysů výstřižku se zápornou vůlí je na obr. 2.9 b). Rozměr střížníku bývá o 0,1 až 0,5 mm větší než rozměr střížnice. Při přistřihování nesmí střížník dosednout na střížnici, pouze se přiblíží na vzdálenost  $b = 0,2$  až 0,4 mm. Polotovar je přistřižen jen částečně a dokončí se až při přistřihování dalšího výstřižku, který předchodí výstřižek do střížnice protlačí. Třísky jsou nejčastěji odváděny stlačeným vzduchem.

Nástroje na přistřihování musí zajistit vzájemnou polohu horní a dolní části nástroje, ustavení polotovaru s rovnoměrným přídavkem, snadné vyjmutí a plynulý odchod třísek. Jsou konstruovány jako konvenční stříhadla s vodícími stojánky a kuličkovým vedením. Nástroje jsou upínány do výstředníkových, hydraulických a vibračních lisů.

Podle konstrukce funkčních částí lze přistřihování rozdělit na :

- přistřihování vnějších otvorů s kladnou vůlí, viz. obr. 2.9 a),
- přistřihování vnějších otvorů se zápornou vůlí, viz. obr. 2.9 b),
- přistřihování vnitřních otvorů, viz. obr. 2.9 c),
- kombinace stříhání otvorů s přistřihováním, viz. obr. 2.9 d).



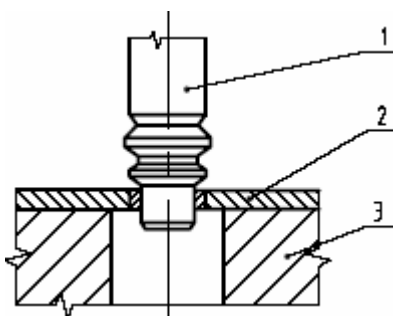
Obr. 2.9 Přistřihování [5]

### 2.2.4 Kalibrování [5]

Kalibrováním se nejčastěji dohotovují již předhotovené otvory (předstřížené, předvrtané). Lze kalibrovat i vnější rozměry.

Princip kalibrování vnějších tvarů je velmi podobný technologii přistřihování. Polotovar se protlačí speciálně upravenou střížnicí, která má zkosené hrany. Poloměr zaoblení střížnice závisí na tloušťce materiálu a pohybuje se v rozmezí 0,5 až 1,5 mm. Přídavek na kalibrování je volen v rozmezí 0,15 až 0,40 mm. Při kalibrování je nutné brát v úvahu i odpružení materiálu.

Nástrojem pro kalibraci otvorů je kalibrační trn s několika kalibračními plochami o šířce 1 až 3 mm, viz. obr. 2.10. Kalibrační plochy mají náběh a výběh zkosený pod úhlem  $5^\circ$ . Náběh a výběh slouží k plynulému průběhu při kalibrování. Nejlepších výsledků kvality se dosáhne, je-li otvor umístěn v dostatečné vzdálenosti od okraje plechu. V porovnání s přistřihováním je kalibrování méně přesné vlivem odpružení po kalibraci. Na kalibrování je třeba také větší síla než na přistřihování. Povrch kalibrované součásti je zpevněn.



Obr. 2.10 Kalibrování otvorů [5]

1 – střížník, 2 – kalibrovaný materiál, 3 – střížnice

### 2.2.5 Přesné stříhání s nátláčnou hranou

Tato technologie je nejpoužívanější ze všech variant přesného stříhání. Je to kombinace technologie stříhání a protlačování. Technologií lze získat velmi rozměrově přesný výstřížek s kvalitním povrchem. Ukázky dílců, které lze výhodně vyrábět technologií přesného stříhání jsou v příloze I.

Pomocí této technologie bude provedena inovace výroby aretační páky (příloha VII, číslo výkresu DIP-2008.1E1), protože tato technologie je vhodná pro zadanou sérii 600 000 ks/rok. Na zadanou součást jsou kladeny rozměrové požadavky IT 7 a je požadována tolerovaná rozteč otvorů s tolerancí  $\pm 0,05$  mm. Technologie přesného stříhání s nátláčnou hranou tyto požadavky bezproblémově zajistí.

Z tohoto důvodu je technologie přesného stříhání s nátláčnou hranou popsána podrobněji v kapitole 2.3.

## 2.3 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ S NÁTLAČNOU HRANOU [1], [2]

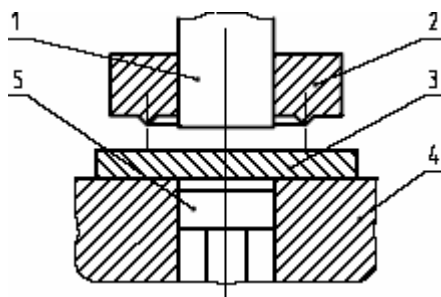
Patent na tuto technologii pochází z roku 1923 z Německa. Na počátku vývoje se stříhaly materiály do tloušťky 3 mm, dnes díky velkému rozvoji hydraulických lisů a nástrojových materiálů se stříhají součásti do tloušťky 19 mm. Přes 60 % výstřížků zhotovených touto technologií je pro automobilový průmysl. Technologie je rozšířena hlavně v Severní Americe, Japonsku a Evropě a je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu z důvodu velmi drahých nástrojů a nutnosti speciálních lisů.

Přesné stříhání je technologicky velmi náročná operace. Náročnost operace spočívá ve vyvození tříosého stavu napjatosti a nutnosti speciálního lisu. Pro přesné stříhání se používá sloučených stříhadel, které jsou nejvhodnější ke stříhání součásti s uzavřenou křivkou stříhu.

U těchto nástrojů probíhá děrování i vystřihování současně. Při přesném stříhání se díky spolupůsobení stříhadla a lisu zabránuje tvoření trhlin v oblasti stříhu, ke kterému dochází při běžném stříhání vlivem plastické deformace. Tvoření trhlin je možno zabránit jenom u materiálů vhodných k přesnému stříhání. Jsou to materiály s dostatečně velkou tvárností.

### 2.3.1 Princip přesného stříhání [1], [2]

Nástroj je složen ze čtyř základních funkčních částí (střižníku, střižnice, přidržovače s nátlacnou hranou, vyhazovače). Funkce všech částí nástroje musí být dokonale sladěna. Schéma nástroje je na obr. 2.11. Stříhaný materiál je podavačem zaveden do nástroje. Krok v nástroji je určen pomocí odstříhovacího nože nebo automatického podavače. Materiál procházející nástrojem je v počáteční fázi sevřen mezi přidržovačem a střižnicí. Před vlastním stříhem je nátlacná hrana zatlačena do materiálu. Tato nátlacná hrana vytváří v materiálu požadovanou tříosou napjatost. Poloha nátlacné hrany je volena mimo křivku stříhu. Uvnitř křivky stříhu je materiál sevřen mezi střižníkem a vyhazovačem. Protože materiál je sevřen, nedochází k prohnutí výstřižku. Napětí, které vzniká následkem plastické deformace, je zachycováno nátlacnou hranou a následně nástrojem.



Obr. 2.11 Nástroj pro přesné stříhání [12]

1 – střižník, 2 – přidržovač s nátlacnou hranou, 3 – materiál, 4 – střižnice, 5 – vyhazovač

### 2.3.2 Postup přesného stříhání [2]

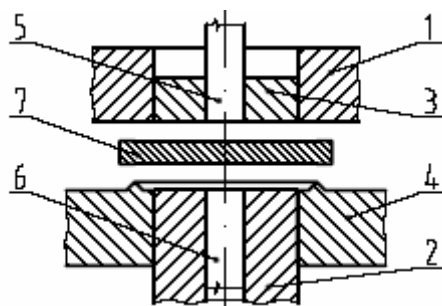
Postup přesného vystřihování kruhové podložky na trojčinném lisu se spodním pohonem se skládá ze šesti elementárních fází, které na sebe plynule navazují, viz. obr. 2.12 – 2.17.

Fáze I – zde je nástroj otevřen, horní část nástroje je v základní poloze a jeho spodní část v dolní mrtvé poloze. Přitom funkční části nástroje – střižník (5), střižnice (1) a vyhazovač (3), jsou v jedné rovině, dále části nástroje – střižník (2), přidržovač (4) a vyhazovač (6) jsou v jedné rovině. Pruh nebo pás stříhaného plechu (7) se nachází mezi horní a spodní částí nástroje. Viz. obr. 2.12.

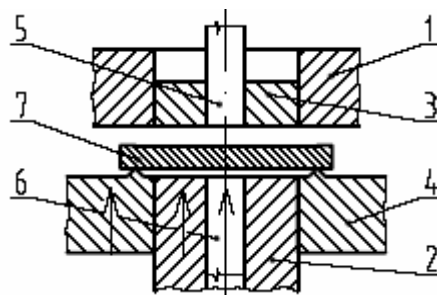
Fáze II – beran lisu postupuje nahoru, přičemž nátlacná hrana přidržovače tlačí před sebou výchozí materiál. Viz. obr. 2.13.

Fáze III – zde začíná vlastní stříhání. Nátlacná hrana je zatlačena do materiálu, který je sevřen mezi střižnicí a přidržovačem a současně mezi střižníkem a vyhazovačem. Vyhazovač klade odpor postupujícímu střižníku. Viz. obr. 2.14.

Fáze IV – v této fázi končí stříh. Součást je prostřížena a nachází se ve střižnici. Důležitým momentem v této fázi je, že střižník (2, 5) neprochází do střižnice (1) a střižníku (2). Viz. obr. 2.15.

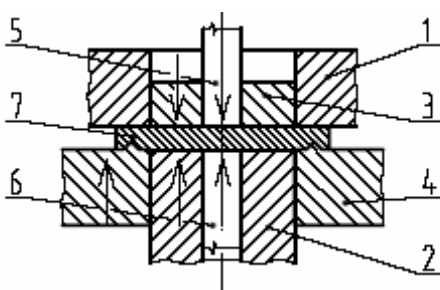


Obr. 2.12 Výchozí poloha [2]

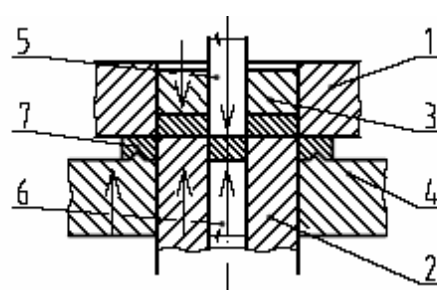


Obr. 2.13 Fáze stříhu [2]

1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – vyhazovač, 4 – přidržovač, 5 – střížník, 6 – vyhazovač, 7 – stříhaný materiál



Obr. 2.14 Fáze stříhu [2]

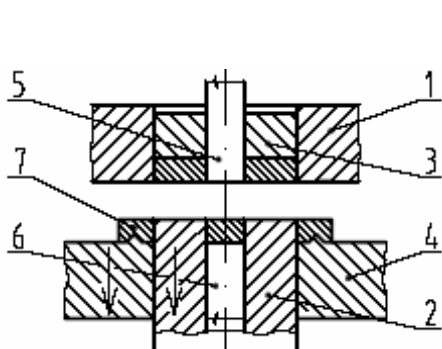


Obr. 2.15 Vystřížený materiál [2]

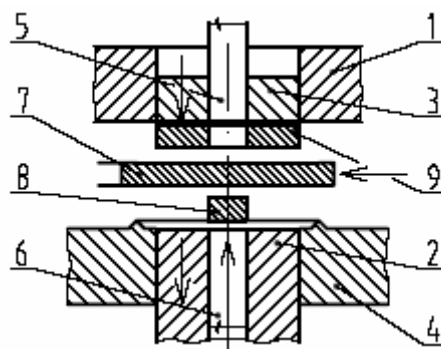
1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – vyhazovač, 4 – přidržovač, 5 – střížník, 6 – vyhazovač, 7 – stříhaný materiál

Fáze V – v této fázi dochází k rozevření nástroje. Spodní část nástroje se pohybuje směrem dolů, a tím uvolňuje prostřížený materiál. Viz. obr. 2.16.

Fáze VI – konečná fáze, ve které je prostřednictvím vyhazovače (3) a střížníku (2) vyhozen výstřížek z dolní části nástroje a odpad ze spodní části nástroje. Výstřížek a odpad jsou z pracovního prostoru lisu odstraněny stlačeným vzduchem. Viz. obr. 2.17.



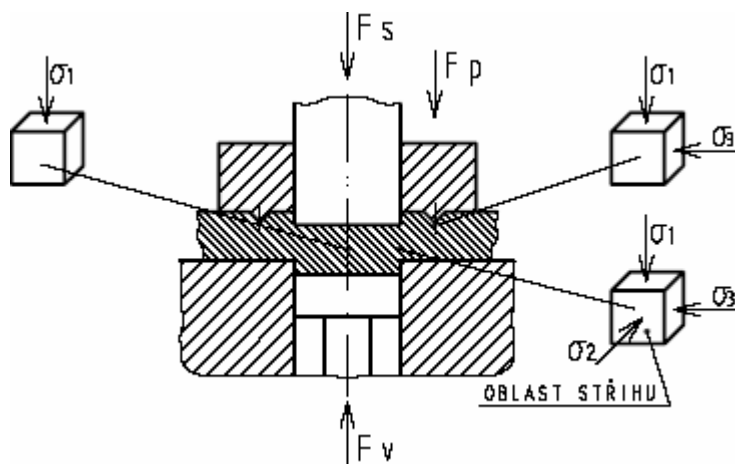
Obr. 2.16 Rozevření nástroje [2]



Obr. 2.17 Vyhození výstřížku a posuv pásu [2]

1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – vyhazovač, 4 – přidržovač, 5 – střížník, 6 – vyhazovač, 7 – stříhaný materiál

### 2.3.3 Rozbor stavu napjatosti při přesném stříhání [2], [4]



Obr. 2.18 Schéma napjatosti při přesném stříhání [2]

Při přesném stříhání vznikají v materiálu tři oblasti s různými schématy napjatosti, viz. obr. 2.18. Nejvýhodnější rozložení hlavních napětí je právě v oblasti stříhu, kde vzniká tříosá tlaková napjatost. Je to oblast všestranného tlaku, vylučující vznik trhlin a podporující průběh čistě plastického stříhu. Vlivem toho roste schopnost materiálu plasticky se deformovat.

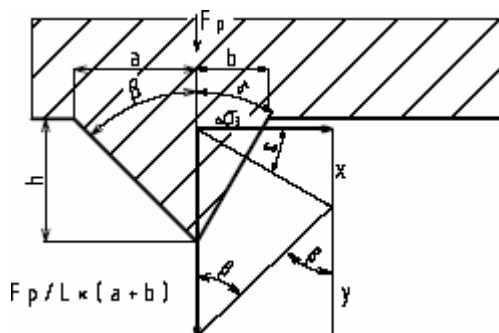
Stav napjatosti při přesném stříhání lze podle autora [2] rozdělit na tři základní oblasti:

- oblast čela střížníku na počátku stříhu,
- oblast tlačné hrany,
- oblast čela střížníku v průběhu stříhu.

Každou z těchto oblastí lze matematicky charakterizovat a vypočítat působící napětí. Oblast čela střížníku na počátku stříhu lze chápat jako pětování kruhové desky mezi dvěma rovnoběžnými rovinami. Oblast tlačné hrany lze převést na protlačování materiálu zužujícím se průvlakem. Materiál je na tlačné hraně pětován při současném posunu. Oblast čela střížníku v průběhu stříhu lze uvažovat jako protlačování materiálu válcovou průtlačnicí.

### 2.3.4 Rozbor stavu napjatosti od nátláčné hrany [2], [4]

Rozhodující význam při rozboru napjatosti má použití přidržovače s nátláčnou hranou. Působením přidržovače s nátláčnou hranou se zvýší příčné tlakové napětí  $\sigma_3$ . Změní se vzájemné poměry hlavních napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$ . Výsledkem je vznik tlakového normálního napětí –  $\sigma_n$ , které brání rozevírání trhlin. Tímto se dosáhne, že stříhaný materiál je plasticky oddělován v celé tloušťce. Rozšířením plastického stříhu se dosáhne zvýšené kvality povrchu střížné plochy a přesnosti stříhu. Napjatost na střížné hraně při přesném stříhání je zobrazeno na obr. 2.20. Výpočet složek napětí je stejný jako u běžného stříhání, viz. kapitola 2.1.2.



Obr. 2.19 Vznik přídavného napětí na nátláčnou hraně [4]

Z geometrie nátláčnou hrany, viz. obr. 2.19, můžeme stanovit průmět funkční plochy přidržovače.

$$S_{PR} = (a + b) \cdot L \quad (2.6)$$

kde:  $S_{PR}$  – průmět plochy přidržovače [ $\text{mm}^2$ ]  
 $L$  – délka nátláčnou hrany [ $\text{mm}$ ]

$$a = \tan \beta \cdot h \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

$$b = \tan \gamma \cdot h \quad [\text{mm}] \quad (2.8)$$

$$S_{PR} = (\tan \beta + \tan \gamma) \cdot h \cdot L \quad [\text{mm}^2] \quad (2.9)$$

kde:  $h$  – výška nátláčnou hrany [ $\text{mm}$ ]

Potřebná síla přidržovače na plastické zatlačení hrany plyne ze vztahu:

$$F_P = S_{PR} \cdot R_e = (\tan \beta + \tan \gamma) \cdot L \cdot h \cdot R_e \quad (2.10)$$

kde:  $R_e$  – mez kluzu [ $\text{MPa}$ ]  
 $F_P$  – síla přidržovače [ $\text{N}$ ]

Přídavná složka napětí bude rovna:

$$x = \tan \gamma \cdot \Delta \sigma_3 \quad [\text{mm}] \quad (2.11)$$

kde:  $\Delta \sigma_3$  – přídavné napětí od nátláčnou hrany [ $\text{MPa}$ ]

$$y = \tan \beta \cdot \Delta \sigma_3 \quad [\text{mm}] \quad (2.12)$$

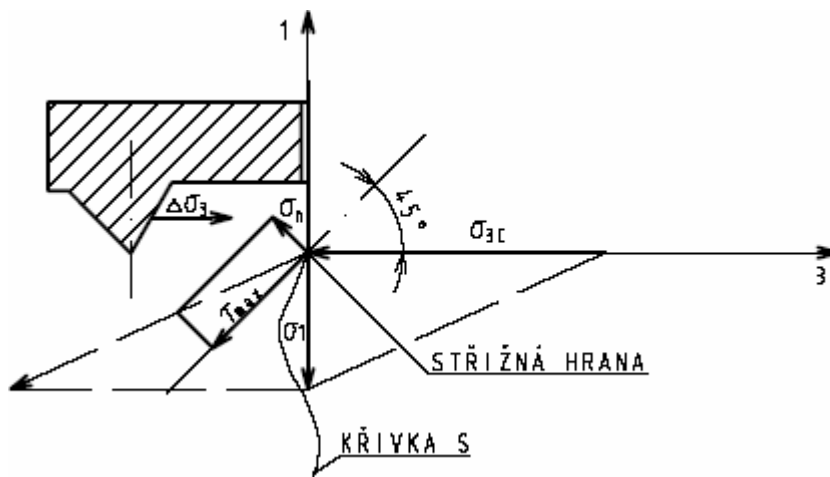
$$\frac{F_P}{L \cdot (a + b)} = x + y = \Delta \sigma_3 \cdot (\tan \gamma + \tan \beta) \quad (2.13)$$

$$\Delta \sigma_3 = \frac{F_P}{L \cdot (a + b)} \cdot \frac{1}{(\tan \gamma + \tan \beta)} \quad [\text{MPa}] \quad (2.14)$$

Celkové hlavní tlakové napětí na břítu střížné hrany je:

$$\sigma_{3C} = \sigma_3 + \Delta \sigma_3 \quad (2.15)$$

kde:  $\sigma_3$  – hlavní napětí [ $\text{MPa}$ ]  
 $\sigma_{3C}$  – celkové hlavní napětí [ $\text{MPa}$ ]



Obr. 2.20 Schéma napjatosti na střižné hraně [4]

### 2.3.5 Působící síly při přesném stříhání [1], [5]

Operace přesného stříhání se účastní tři síly:

- střížná síla k oddělování materiálu,
- síla k zatlačení nátlacné hrany a sevření materiálu kolem křivky stříhu přidržovačem a střížnicí,
- síla vyhazovače k sevření materiálu mezi střížníkem a vyhazovačem.

Grafické znázornění působících sil při přesném stříhání je na obr. 2.18. Velikost těchto sil není během stříhu konstantní, ale během stříhu se mění v závislosti na poloze nástroje. Každá síla musí být plynule a nezávisle regulována. Síly jsou nejčastěji vyvozeny a regulovány pomocí hydraulických systémů, pro malé síly lze užít i pneumatického vyhazovače. Součet těchto sil udává potřebnou celkovou sílu  $F_C$ .

$$F_C = F_P + F_V + F_S \quad (2.16)$$

kde:  $F_C$  – celková síla při přesném stříhání [N]  
 $F_P$  – síla přidržovače při přesném stříhání [N]  
 $F_V$  – síla vyhazovače při přesném stříhání [N]  
 $F_S$  – střižná síla při přesném stříhání [N]

Střižná síla  $F_s$  se vypočítá podle rovnice (2.17). Není třeba uvažovat třecí síly mezi výchozím materiálem a střižnicí. Přibližná hodnota  $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ .

$$F_s = S \cdot \tau_s \cdot n = t \cdot l \cdot \tau_s \cdot n \quad (2.17)$$

kde:  $S$  – střižná plocha [ $\text{mm}^2$ ]  
 $\tau_s$  – mez pevnosti ve stříhu [MPa]  
 $n$  – opravný součinitel  
 $t$  – tloušťka materiálu [mm]  
 $l$  – délka křivky stříhu [mm]  
 $F_S$  – střižná síla při přesném stříhání [N]

Síla přidržovače  $F_p$  se určí z rovnice (2.18).

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L \cdot h \quad (2.18)$$

kde:  $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]  
 $L$  – délka tlačné hrany [mm]  
 $h$  – výška tlačné hrany [mm]  
 $F_p$  – síla přidržovače při přesném stříhání [N]

Rovnice (2.18) platí pouze při použití nátláčné hrany s vrcholovým úhlem  $75^\circ$ . V ostatních případech je nutno použít nomogramu, nebo tabulek.

Síla vyhazovače  $F_V$  se určí z rovnice (2.19).

$$F_V = S_S \cdot p \quad (2.19)$$

kde:  $S_S$  – plocha součásti [mm<sup>2</sup>]  
 $p$  – měrný tlak [MPa]  
 $F_V$  – síla vyhazovače při přesném stříhání [N]

Měrný tlak  $p$  bývá v rozmezí 20 až 70 MPa, v případě spojení stříhání a ohýbání nebo ražení může být 100 až 150 MPa.

### 2.3.6 Vynaložená práce při přesném stříhání [1], [2]

Podobně jako celková síla pro přesné stříhání, se celková práce skládá z:

- střížné práce,
- práce přidržovače (práce na zatlačení tlačné hrany),
- práce vyhazovače.

Součet těchto prací udává potřebnou celkovou práci.

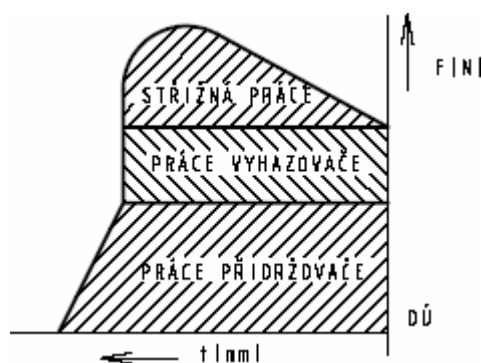
$$A_C = A_S + A_p + A_V \quad (2.20)$$

kde:  $A_C$  – celková práce při přesném stříhání [J]  
 $A_p$  – práce přidržovače při přesném stříhání [J]  
 $A_V$  – práce vyhazovače při přesném stříhání [J]  
 $A_S$  – střížná práce při přesném stříhání [J]

$$A_C = \frac{0,48 \cdot l \cdot R_m \cdot t^2}{1000} + \frac{2 \cdot R_m \cdot h \cdot L}{1000} + \frac{S_S \cdot p \cdot t}{1000} \quad (2.21)$$

kde:  $l$  – délka křivky stříhu [mm]  
 $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]  
 $t$  – tloušťka materiálu [mm]  
 $h$  – výška tlačné hrany [mm]  
 $L$  – délka tlačné hrany [mm]  
 $S_S$  – plocha součásti [mm<sup>2</sup>]  
 $p$  – měrný tlak [MPa]  
 $A_C$  – celková práce při přesném stříhání [J]





Obr. 2.21 Střižná práce při přesném stříhání [2]

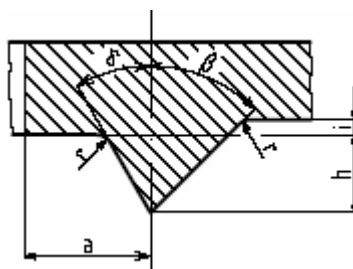
Plocha grafu na obr. 2.21 představuje velikost spotřebované práce na jeden zdvih lisu. Práce přidržovače má přibližně lineární charakter. Největší spotřeba práce je na začátku stříhu. Autor [2] uvádí, že porovnáním spotřeby práce při přesném stříhání se spotřebou práce při konvenčním stříhání je při přesném stříhání spotřeba práce 2 až 3,5krát vyšší než u konvenčního stříhání.

### 2.3.7 Základní technologické parametry přesného stříhání

Technologie přesného stříhání je velmi složitý proces, který je ovlivněn mnoha faktory. Většina technologických parametrů vychází z empirických vztahů, které jsou prověřeny dlouholetou praxí. Nedodržení některého faktoru znamená značné snížení kvality střižné plochy a snížení životnosti funkčních částí nástroje. Při dodržení všech zásad lze zhotovit velmi tvarově členité a rozměrově přesné výstřižky.

#### Nátlačná hrana [1], [2], [8]

Typickým znakem nástrojů pro přesné stříhání je nátlačná hrana. Vtlačuje se před vlastním stříhem do stříhaného materiálu, a to podél celého obrysu stříhu. Její funkcí je vytvořit ve střižné oblasti pásmo trojosé tlakové napjatosti. Protože plastická deformace v oblasti stříhu je kromě tvárnosti materiálu ještě ovlivněna jeho tloušťkou, je nutné volit rozměry nátlačné hrany v závislosti na vlastnostech a tloušťce stříhaného materiálu. Tvar nátlačné hrany je znázorněn na obr. 2.22. Geometrie nátlačné hrany je uvedena v tab. 2.1, význam symbolů v tabulce odpovídá obr. 2.22.



Obr. 2.22 Geometrie tlačné hrany [4]

Tvar, poloha a rozměry nátlačné hrany ovlivňují kvalitu střižné plochy a životnost nástroje. Pro tloušťky stříhaných materiálů do 4 mm se používá jen jedna nátlačná hrana na přidržovači a pro tloušťky nad 4 mm se používají dvě nátlačné hrany – na přidržovači a na střižnici.

Tab. 2.1 Geometrie nátláčné hrany dle výrobce nástrojů [7]

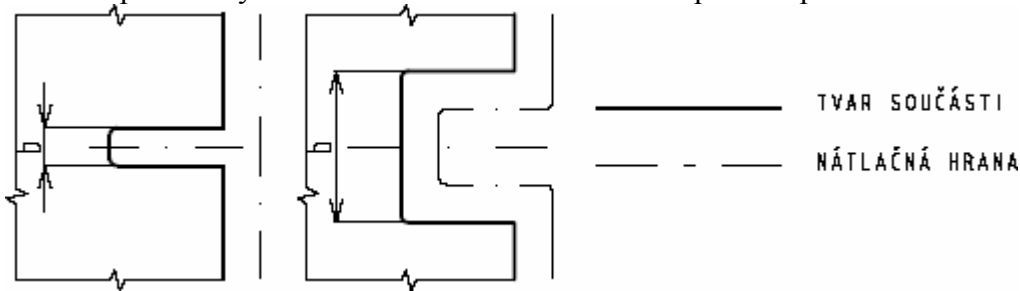
Firma	t [ mm ]	a [ mm ]	h [ mm ]	i [ mm ]	$\gamma [ ^\circ ]$	$\beta [ ^\circ ]$
Feintool	1 – 4*	( 1 – 1,5 )t	( 0,33 – 0,5 )t	0,05	30- 40	40 – 45
Maypres	1 – 4*	0,7t	0,2t	0,05	40	40
E. A. Popov		( 0,6 – 0,7 )t	( 0,1 – 0,2 )t	0,05 – 0,1	30	45
Heindrich – Schmidt	3 – 5*	( 0,5 – 2 )t			40	40
Schmöcke		( 0,6 – 1,2 )t	( 0,2 – 0,3 )t			

Poznámka: \* od tloušťky plechu 4mm se doporučují dvě nátláčné hrany

Stanovení rozměrů a umístění křivky nátláčné hrany je věcí zkušenosti. Je třeba dbát těchto vlivů:

- S malou nátláčnou hranou blízko křivky stříhu lze dosáhnout stejného účinku jako s větší nátláčnou hranou ve větší vzdálenosti od křivky stříhu. Při malé vzdálenosti nátláčné hrany od střížných hran dochází k odebírání materiálu při vnikání střížníku. To negativně ovlivňuje střížný proces. Při velké vzdálenosti nátláčné hrany od střížných hran stoupá spotřeba materiálu a zvyšuje se potřebná síla, která je nutná k zatlačení nátláčné hrany do materiálu.
- Výstupky a části zabíhající dovnitř stříhané součásti se dají snáze přesně stříhat než vyčnívající. Při stříhání úzkých štěrbin, kde je malý poměr šířky štěrbin k tloušťce výchozího materiálu, by se vlivem přemísťování materiálu vyrušil účinek nátláčné hrany. Proto nátláčná hrana zde nesleduje křivku stříhu, ale převádí se kolem ústí štěrbin, viz. obr. 2.23. Kritérium pro určení průběhu nátláčné hrany:

- pro zářezy o šířce  $b \leq 15 \cdot h$  není nátláčná hrana vedena podél obrysu stříhu,
- pro zářezy o šířce  $b > 15 \cdot h$  nátláčná hrana probíhá podél stříhaného obrysu.



Obr. 2.23 Umístění nátláčné hrany k obrysu součásti [8]

- Rozměry nátláčné hrany jsou závislé také na tloušťce a vlastnostech stříhaného materiálu. Čím větší bude nátláčná hrana, tím menší může být zaoblení stříhu.
- Při velkém rozměru nátláčné hrany dochází k velkému opotřebení nástroje. Celkový počet kusů, které lze na nástroji vyrobit, klesá se zvětšující se nátláčnou hranou. Na obr. 2.22 je znázorněn průřez nátláčné hrany, kterého je v praxi nejčastěji používáno. Výška nátláčné hrany  $h$  odpovídá hloubce vtlačení nátláčné hrany do stříhaného materiálu.
- Přibližně se hodnota  $h$  volí:
  - pro tvárné materiály  $h = 1 / 3 \cdot t$  [mm]
  - pro méně tvárné materiály  $h = 1 / 6 \cdot t$  [mm]

Vzdálenost  $a$ , výška nátláčné hrany  $h$ , viz. obr. 2.22, se volí dle tab. 2.2 v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu.

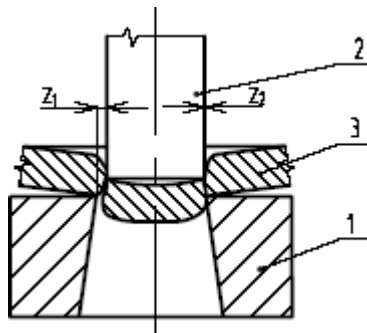
Tab. 2.2 Rozměry nátláčné hrany [8]

Tloušťka materiálu [mm]	$a$ [mm]	$h$ [mm]	$h + i$ [mm]	$r$ [mm]
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08
2,2	1,5	0,4	0,45	0,08
2,5	1,75	0,4	0,45	0,08
3,0	2,1	0,45	0,5	0,09
3,5	2,5	0,45	0,5	0,09

### Střížná vůle [2], [5], [8]

Střížná vůle má rozhodující vliv na kvalitu střížné plochy a na rozměry budoucího výstřížku, protože přímo ovlivňuje směr smykového napětí, které způsobuje oddělení materiálu. Malá vůle způsobuje, že smykové napětí působí kolmo na stříhaný materiál. Střížná vůle je u přesného stříhání asi 10krát menší než u běžného stříhání a závisí na tloušťce stříhaného materiálu a jeho mechanických vlastnostech.

Střížná vůle je rozdíl mezi skutečným rozměrem střížnice a střížníku. Měří se ve směru normály k obrysu střížného tvaru. Při správném ustavení střížníku a střížnice se střížná vůle ( $v$ ) dělí na dvě stejné mezery ( $m$ ). Po celém obvodu stříhu mají být tyto mezery rovnoměrné.



Obr. 2.24 Střížná vůle [1]

1 – střížnice, 2 – střížník, 3 – stříhaný materiál  
 $z_1$  – velká střížná vůle,  $z_2$  – optimální střížná vůle

Střížnou vůli lze určit podle nomogramů nebo výpočtem podle vzorců sestavených na základě praktických zkušeností, např. autor [5] uvádí:

– pro plechy tloušťky  $t \leq 3$  mm

$$v = 2 \cdot m = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.22)$$

kde:  $v$  – střižná vůle [mm]  
 $m$  – střižná mezera [mm]  
 $c$  – koeficient [–], závisí na druhu stříhání, pro přesné stříhání se volí  $c = 7 \cdot 10^{-4}$   
 $t$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]  
 $\tau_s$  – mez pevnosti ve stříhu [MPa]

– pro plechy tloušťky  $t > 3$  mm

$$v = 2 \cdot m = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

Přibližné hodnoty střižné vůle jsou uvedeny v tab. 2.3. Hodnoty v tabulce jsou získány jako 0,5 % tloušťky stříhaného materiálu.

Tab. 2.3 Velikost střižné vůle v závislosti na tloušťce materiálu

Tloušťka materiálu [mm]	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Střižná vůle [mm]	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023	0,025	0,028	0,030

### Velikost postranního odpadu a šířky můstku [2], [8]

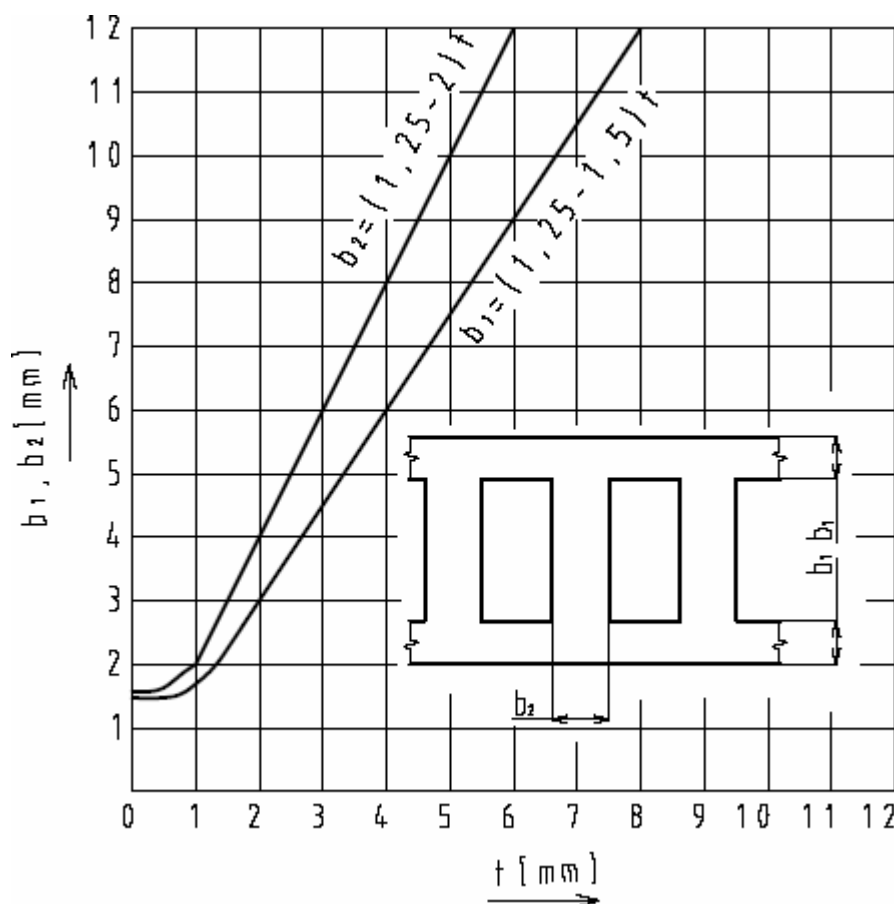
Při přesném stříhání je spotřeba materiálu větší než při konvenčním způsobu stříhání. Do prostoru postranního odpadu a můstku je zatlačena nátláčná hrana, tímto je způsobena větší spotřeba materiálu.

Při použití tvrdých materiálů je zapotřebí větších šířek postranních odpadů a můstku než u měkkých materiálů, neboť jinak nelze vyvodit dostatečný trojosý stav napjatosti. Současně se požaduje tuhost okraje plechu. Velikost postranního odpadu a můstku je přímo závislá na kvalitě střižných ploch.

Podle autora [2] platí, že šířka pásu nebo pruhu plechu je rovna šířce součásti zvětšené o 3 až 4 tloušťky plechu. Hodnoty velikosti můstku a postranního odpadu lze určit podle firemních podkladů nebo dle nomogramu v příloze II. Hodnoty velikosti můstku a postranního odpadu podle firem Hydrel a Feintool jsou uvedeny v tab. 2.4 a obr. 2.25.

Tab. 2.4 Velikost můstku a postranních odpadů podle firmy Hydrel [8]

Tloušťka materiálu [mm]	Velikost můstku [mm]	Velikost postranního odpadu [mm]
0,5	2	1,5
1	3	2
1,5	4	2,5
2	4,5	3
2,5	5	4
3	5,5	4,5
3,5	6	5



Obr. 2.25 Velikost můstků a postranních odpadů podle firmy Feintool [8]

### Technologičnost tvaru součásti [2]

Technologičnost tvaru součásti je souhrn opatření a zásad, které je třeba dodržet, aby součást byla zhotovena rychle a při nízkých nákladech. Součásti vyrobené technologií přesného stříhání musí vyhovovat náročným požadavkům, které jsou prověřeny dlouholetou praxí. Základními požadavky jsou provozní podmínky, tvarová složitost součásti a konstrukční provedení nástroje. Technologičnost konstrukce součásti lze chápat jako výrobu součásti při minimálních výrobních nákladech, během níž je respektován tvar součásti.

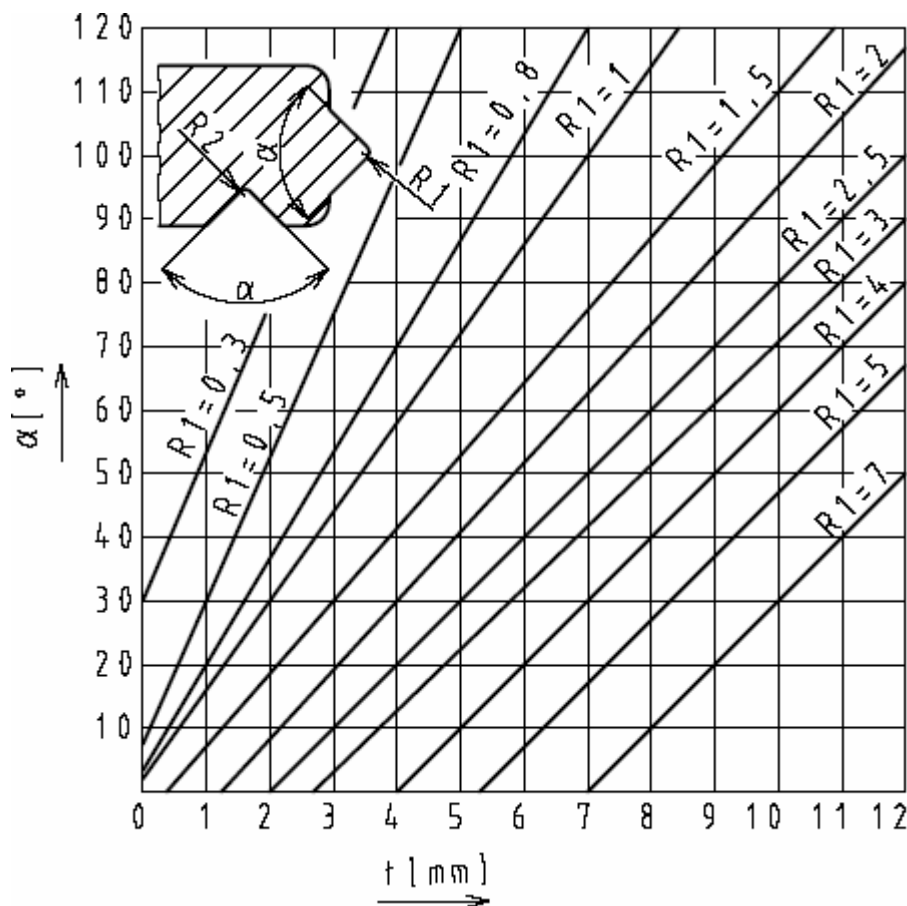
Pro dosažení kvalitních výstřižků je třeba tvar součásti přizpůsobit doporučeným hodnotám získaným z praktických zkušeností.

### Poloměry rohů a hran vystřihovaných částí

Při návrhu konstrukce součástí vyráběných přesným stříháním je nutné volit optimální velikost poloměrů rohů a hran. Zvláštní pozornost je nutné věnovat vyčnívajícím částem, ostrým přechodům a hranám, které způsobují tvorbu mikrotrhlinek, snižují životnost nástroje a kvalitu střižné plochy. Čím větší se zvolí poloměr součásti, tím jakostnější bude střižná plocha. Optimální velikost poloměrů rohů a hran závisí na :

- vrcholovém úhlu,
- tloušťce plechu,
- pevnosti materiálu.

K orientačnímu určení optimální hodnoty poloměru rohů a hran vystřihované součásti u materiálů s pevností  $R_m = 400$  MPa lze použít obr. 2.26 nebo přílohy III.



Obr. 2.26 Optimální velikost poloměrů rohů a hran vystřihovaných součástí [2]

Pro materiály s vyšší pevností se poloměry příslušně zvyšují. Vnější poloměry se odečítají přímo z diagramu a vnitřní poloměr je přibližně 60% hodnoty poloměru vnějšího.

#### Minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky

Při technologii přesného stříhání lze stříhat otvory a drážky, které mají menší rozměr než je tloušťka plechu. Stříhat malé průměry otvorů umožňuje tuhá konstrukce nástrojů pro přesné stříhání a pomalu probíhající proces. Negativním jevem při stříhání malých průměrů je nízká životnost funkčních částí.

Pro orientační určení minimálního průměru otvoru a minimální šířky drážky platí tab. 2.5 nebo příloha IV. Hodnoty v tab. 2.5 jsou určeny pro materiál o pevnosti  $R_m = 400 \text{ MPa}$ .

Tab. 2.5 Minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky [2]

Tloušťka plechu $t \text{ [mm]}$	Minimální průměr otvoru $d \text{ [mm]}$	Minimální šířka drážky $b \text{ [mm]}$
do 3 mm	$60\% \cdot t$	$65\% \cdot t$
nad 3 mm	$70\% \cdot t$	$80\% \cdot t$

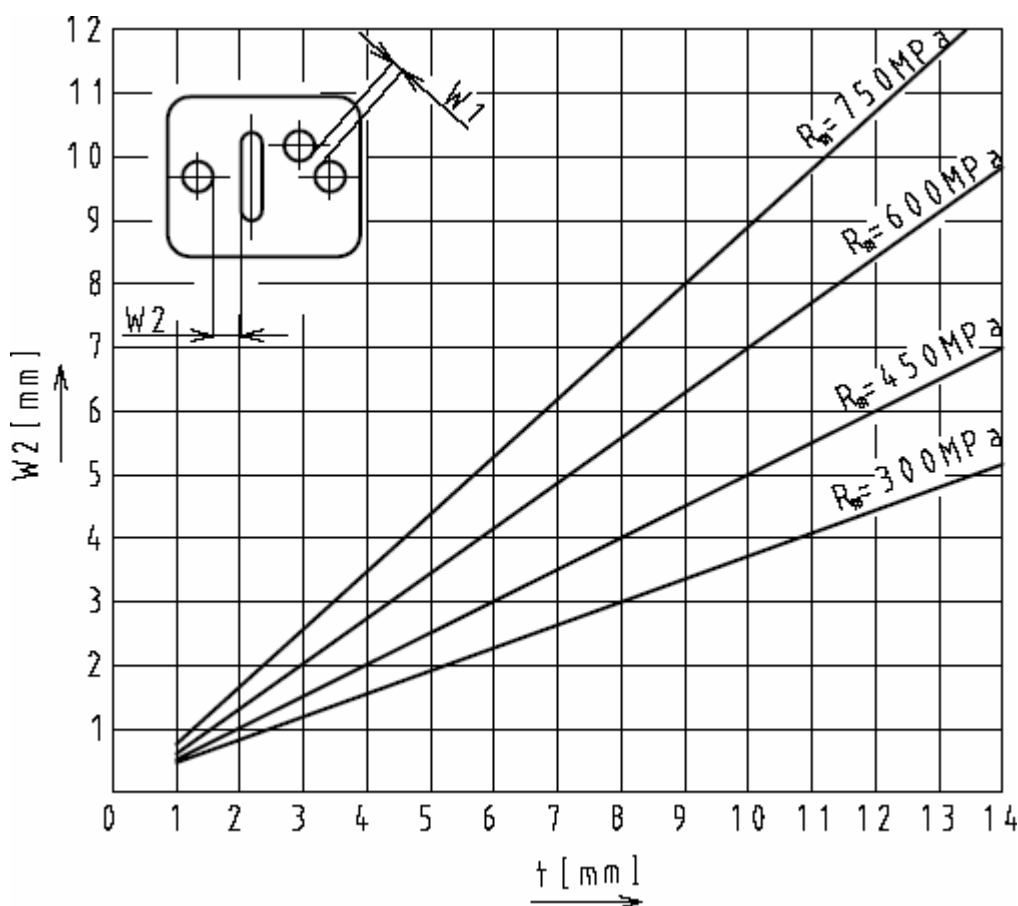
U materiálů s vyšší pevností, kde střížné tlaky vzrůstají, je nutno minimální průměr a šířku drážky zvětšit.

Minimální vzdálenost mezi otvory, minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou

Jestliže jsou otvory a drážky příliš blízko u sebe, dochází ke zhoršení střížné plochy a nadměrnému opotřebení funkčních částí nástroje. Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami závisí na pevnosti a tloušťce materiálu. Se vzrůstající pevností stříhaného materiálu a s jeho vzrůstající tloušťkou je nutné zvětšit vzdálenost mezi otvory. Podle autora [2] vzdálenost  $W_2$  a  $W_1$  musí splňovat rovnici (2.24). Hodnotu  $W_2$  lze určit podle obr. 2.27 nebo přílohy IV. Hodnota  $W_1$  se vypočítá podle rovnice (2.24).

$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 \quad (2.24)$$

kde:  $W_1$  – minimální vzdálenost mezi otvory [mm]  
 $W_2$  – minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou [mm]



Obr. 2.27 Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou [2]

Stříhání ozubení

Jednou z nejpoužívanějších aplikací technologie přesného stříhání je výroba ozubených kol, segmentů a ozubených hřebenů pro kancelářské stroje a spotřební průmysl. Pro ozubení s dlouhou životností je nezbytné, aby šířka zubu, měřená na roztečné kružnici, byla větší než tloušťka stříhaného materiálu. Minimální hodnota šířky zubu na roztečné kružnici, aby se součást dala vyrábět přesným stříháním, je 60 % tloušťky stříhaného materiálu. Minimální hodnotu modulu v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu lze určit z přílohy V.

### Tvarové přechody

U tvarově náročných součástí s mnoha ostrými výstupky dochází během střížného procesu k rozdílným tlakovým napětím. Tento průběh napětí je nepříznivý a má za následek snížení meze únavy. V důsledku snížené meze únavy vzniká velké nebezpečí lomu. K zamezení velkých rozdílů napětí je nutné, aby tvarový přechod probíhal plynule, tj. bez náhlých změn. V opačném případě se zhoršuje kvalita střížné plochy a snižuje se životnost funkčních částí nástroje.

### **Jakost povrchu a rozměrová přesnost [1], [2]**

Jakost povrchu střížných ploch závisí na:

- tvaru křivky stříhu,
- na stříhaném materiálu,
- na tvaru a stavu střížných hran střížníku a střížnice,
- tlaku přidržovače a vyhazovače.

Kritérium kvality střížné plochy je vyjádřeno faktorem:

$$J = \frac{\Delta h}{t} \cdot 100 \quad (2.25)$$

kde:  $\Delta h$  – tloušťka stříhaného materiálu zmenšená o stažení hrany, viz.obr. 2.28 [mm]  
 $J$  – faktor kvality střížné plochy [%]  
 $t$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Odchytky od teoretické jakosti střížné plochy se dají rozdělit na tvarové a povrchové vady. Tvarové vady jsou větší odchytky v oblasti povrchu (hrbolky, jamky, vlny, válcovitost, kolmost, rovinnost), povrchové vady jsou odchytky od hladkého povrchu (drsnot povrchu).

### Tvarové vady

Mezi nejvíce sledované vady patří kolmost střížné plochy k rovině stříhaného materiálu a rovinnost. Při přesném stříhání se dosahuje vysoké kolmosti střížné plochy. Odchytky od normály střížné plochy jsou větší na vnějším než na vnitřním tvaru stříhu. Podle autora [2] dosahuje kolmost střížné plochy 0,02 mm pro stříhaný materiál o tloušťce 10 mm. Rovinnost přesně stříhaných součástí je vždy lepší než u součástí vzniklých klasickým způsobem stříhání. Pro získání maximální rovinnosti je nezbytné, aby materiál byl ve vhodný okamžik střížného cyklu dostatečně sevřen činnými částmi nástroje. U tenkých výstřižků hrozí nebezpečí deformace vlivem uvolňujícího se napětí ve stříhaném materiálu. Ve většině případů odpadá dodatečné rovnání výstřižků.

### Povrchové vady

Pro povrchové vady je rozhodující drsnost povrchu. Drsnost povrchu se rychle zhoršuje s nevhodně zvoleným postranním odpadem, můstkem nebo nevhodně zvoleným protitlakem. U zaoblené hrany střížné plochy je drsnost povrchu menší než na straně ořepu. Při běžné sériové výrobě přesným stříháním lze dodržet drsnost povrchu  $R_a = 0,4$  až  $R_a = 1,6$   $\mu\text{m}$ . Ve speciálních případech lze podle autora [10] dosáhnout drsnost povrchu  $R_a = 0,1$   $\mu\text{m}$ .



### Rozměrová přesnost

Faktory ovlivňující rozměrovou přesnost:

- jakost nástrojů pro přesné stříhání,
- vnitřní a vnější tvary vystřihované součásti,
- tloušťka stříhaného materiálu,
- pevnost a struktura materiálu.

Pro materiály tloušťky 4 mm a  $R_m = 500$  MPa jsou běžně dosahovány podle autora [2] následující stupně přesnosti :

- vnější tvary IT 7 až IT 9,
- vnitřní tvary IT 6 až IT 8,
- rozteče otvorů IT 7 až IT 8.

U materiálů s vyšší mezí pevnosti v tahu a větší tloušťkou materiálu se dosahuje vyšších stupňů přesnosti. Dle autora [10] pro materiál tloušťky nad 4 mm, je stupeň přesnosti pro vnitřní tvary IT 9 a pro rozteč otvorů IT 10. V příloze VI je porovnání technologie přesného stříhání s ostatními technologiemi. Porovnávacím kritériem jednotlivých technologií je dosahovaná přesnost technologie.

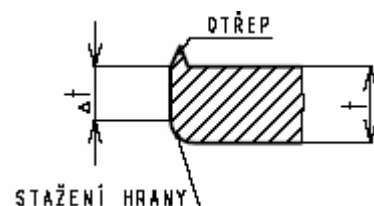
### Stažení hran a tvoření otřepu

Stažení hrany je negativní jev při technologii přesného stříhání a není rovnoměrné podél střížného obvodu. Pro výšku stažení hrany platí následující pravidla:

- u přímých tvarů je stažení hrany menší než 10 % tloušťky materiálu,
- u zakřivených tvarů může stažení hrany činit až 20 % tloušťky materiálu,
- u extrémně nepříznivých tvarů, např. ozubení, ostré zuby, hroty apod., jejichž zubová šířka je menší než tloušťka materiálu, dosahuje stažení hrany maximálně 30 %,
- u měkkého materiálu s dobrou tvárností je stažení hrany větší než u tvrdého materiálu.

Otřep je také negativní jev při technologii přesného stříhání. U otupených střížných hran střížníku a střížnice, silného stříhaného materiálu dochází k tvorbě vysokého otřepu. Podle autora [2] výška otřepu není tak negativní jako šířka. Široký otřep vzniká při stříhání se zaoblenými hranami střížnice.

Odstranění otřepu (ostřiny) probíhá buď přímo za lisem na automatizované pásové brusce nebo se používá metody omílání v bubnech. Metoda omílání se používá při velkosériové a hromadné výrobě a je častější.

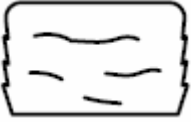


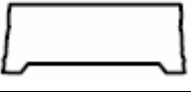





Obr. 2.28 Otřep a stažení hrany [2]

### 2.3.8 Vady výstřižků při přesném stříhání [2]

Při přesném stříhání mohou vzniknout vady výstřižků. Nejčastější vady výstřižků, příčiny jejich vzniku a možnosti odstranění jsou uvedeny v tab. 2.6.

Tab. 2.6 Závady při přesném stříhání [2]

Tvar výstřižku	Stav střižné plochy	Příčina	Odstranění
	špatný	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nevhodný materiál</li> <li>– velká drsnost střižnice</li> <li>– nedostatečné mazání</li> <li>– zaoblení střižnice příliš malé a nepravidelné</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyžítat nebo změnit materiál</li> <li>– přebrousit střižnici, pokud to střižná vůle dovolí</li> <li>– mazání provádět vhodným mazadlem</li> <li>– opravit zaoblení střižnice</li> </ul>
	trhlina	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nízký tlak přidržovače</li> <li>– malé zaoblení střižnice</li> <li>– nevhodný materiál</li> <li>– nízká nátlaková hrana</li> <li>– malý poloměr v rozích</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zvětšit tlak přidržovače</li> <li>– zvětšit zaoblení střižnice</li> <li>– vyžítat nebo změnit materiál</li> <li>– tlačnou hranu umístit i na střižnici</li> <li>– střižnou hranu více zaoblit</li> </ul>
	odtržený okraj	<ul style="list-style-type: none"> <li>– střižná vůle je velká</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyrobit nový střižník</li> </ul>
	střižná plocha zvlněná a kuželová	<ul style="list-style-type: none"> <li>– střižná vůle je malá</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– střižnou vůli zvětšit</li> </ul>
	velký otřep	<ul style="list-style-type: none"> <li>– střižná vůle je malá, střižník je opotřebovaný</li> <li>– střižná vůle je optimální, střižník je vyštípnutý</li> <li>– normální opotřebení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zvětšit střižnou vůli, přebrousit střižník</li> <li>– horní stůl přestavit nahoru, střižník přebrousit a lapovat</li> <li>– střižník přebrousit a lapovat</li> </ul>
	výstřižek je podélně prohnutý	<ul style="list-style-type: none"> <li>– napětí v materiálu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– použít polotovar s odstraněným pnutím, předřadit rovnačku nebo součásti rovnat</li> </ul>
	výstřižek je zkroucený	<ul style="list-style-type: none"> <li>– napětí v materiálu</li> <li>– poloha výstřižku v pásu, pruhu</li> <li>– nepříznivý průběh vláken v materiálu</li> <li>– nesoučasné vyhazování výstřižku u vícedílného vyhazovače</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyžítat k odstranění pnutí</li> <li>– změna polohy výstřižku</li> <li>– změna materiálu</li> <li>– zkontrolovat tloušťku a souměrnost vyhazovaných výstřižků a délku vyhazovacích kolíků</li> </ul>

### 2.3.9 Materiál polotovaru pro technologii přesného střihání

Na materiály pro přesné střihání jsou kladeny větší nároky, než při běžném střihání. Materiály musí mít dostatečnou tvárnost za studena a minimální mez kluzu. Na výslednou kvalitu výstřižku má rozhodující vliv struktura materiálu, velikost zrna, tepelné zpracování a velikost zpevnění.

#### Oceli [2]

Oceli jsou nejvíce zastoupenými materiály pro přesné střihání. Nejvyšších výstřižků se dosahuje při použití nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí s mezí pevnosti do 600 MPa s malým obsahem nežádoucích prvků (fosfor, dusík, síra, vodík). Vysoce legované oceli (chrom, křemík) a oceli s velkým množstvím tvrdých částic (karbidy, nitridy, karbonitridy) nejsou vhodné pro přesné střihání. Přehled materiálů vhodných pro přesné střihání je uveden v příloze VII.

#### Oceli, u kterých byla odzkoušena vhodnost pro přesné střihání:

- uhlíkové oceli: 11 300.20, 11 320.21, 11 330.30, 11 343.20, 11 373.20, 11 423.21, 11 700.20, 12 010.1, 12 014.1, 12 020.1, 12 023.1, 12 024.1, 12 040.1, 12 050.1, 12 060.1, 12 061.1,
- legované oceli: 13 180.0, 14 109.3, 14 108.0, 14 220.0, 14 260.3, 16 221.0, 17 242, 17 024, 19 192, 19 312.3, 19 452.3.

#### Faktory zhoršující vhodnost materiálu k přesnému střihání :

- rostoucí pevnost materiálu,
- vyšší procento uhlíku,
- vyšší procento legur,
- vyšší procento karpidů, nitridů a karbonitridů,
- přítomnost lamelárního perlitu ve struktuře oceli.

Z oceli, mající strukturu feriticko – perlitickou s lamelárním perlitem, lze přesně stříhat pouze součásti jednoduchých tvarů s plynulými přechody. Při členitých tvarech vznikají u ostrých přechodů mikroskopické trhlinky. Z oceli se strukturou perlitickou s globulárním perlitem je možné přesně stříhat složité tvary a součásti s malým zaoblením bez vzniku trhlin. Tyto oceli jsou nejčastěji ve stavu žíhaném.

#### Neželezné kovy [2]

Většina neželezných kovů je vhodná k přesnému střihání. U slitin mědi platí, že se vzrůstajícím procentem mědi stoupá vhodnost materiálu pro přesné střihání. Slitiny obsahující méně jak 56 % mědi se nezpracovávají přesným střiháním. Nevhodná pro střihání je také mosaz s obsahem olova (automatová mosaz). Hliník a jeho slitiny, berylium a jeho slitiny jsou materiály vhodné pro přesné střihání. Při větším obsahu legujících prvků je třeba vhodnost k přesnému střihání ověřovat experimentální zkouškou.

#### Kvalita výchozího materiálu [2]

Kvalitnějších výstřižků se dosáhne při použití pásů a plechů válcovaných za studena. U plechů válcovaných za tepla vznikají zaválcované okraje, šupiny, přeložky a povrch je nerovný a oduhličený. Dle autora [2] hloubka oduhličení nesmí překročit 2 % tloušťky materiálu. Pro výrobu zvláště namáhaných součástí je nutné použít již povrchově upraveného výchozího materiálu bez vrchní oduhličené vrstvy.

Úchylka rovinnosti pruhů nesmí na 1 m délky překročit 5 mm. Úchylka přímosti délky ve směru šířky nesmí na 1 m délky překročit 4 mm.

Stejnomořnost chemického složení a struktury, přesnost rozměrů a jakost výchozího materiálu je nutnou podmínkou pro úspěšné využití přesného stříhání. Při nevhodně zvoleném polotovaru nelze plnohodnotně využít všech předností přesného stříhání.

### **2.3.10 Nástroje pro přesné stříhání**

Nástroje pro přesné stříhání jsou velmi složitá a konstrukčně komplikovaná lisovací zařízení, jejich výroba klade vysoké nároky na vlastní zhotovení nástroje. Pro tyto nástroje je nutno používat kvalitní materiály, protože funkční části jsou namáhány vysokými tlaky. Aby proběhl správně střížný cyklus, musejí všechny funkční části být přesně sladěny.

#### **Zvláštnosti nástrojů pro přesné stříhání [1]**

Nástroje jsou charakteristické těmito znaky:

- Mezi střížníkem a střížnicí je velmi malá střížná vůle (přibližně 0,5 % tloušťky stříhaného materiálu). Pro zachování střížné vůle i při vícenásobné demontáži nástroje je nutné nástroj opatřit vodícím stojánkem.
- Prvky nástroje pro přesné stříhání musí být robustně stavěny a silně vyztuženy, protože jsou vystaveny velkému namáhání.
- Nástroje pro přesné stříhání mají přidržovač s nátláčnou hranou. Přidržovač slouží k sevření stříhaného materiálu na vnější straně křivky stříhu vnějšího tvaru a k setření plechu ze střížníku.
- Vyhazovače neobstarávají jenom vyhazování přesně vystřižené součástí ze střížnice, ale přenáší také opačně působící sílu od lisu na materiál sevřený mezi střížníkem a vyhazovačem.
- U vnitřních tvarů, jejichž rozměry jsou mnohonásobkem tloušťky materiálu ve směru délky a šířky stříhaného materiálu, musí být materiál sevřen také uvnitř křivky stříhu, tedy mezi střížníkem a vhodným prvkem nástroje.

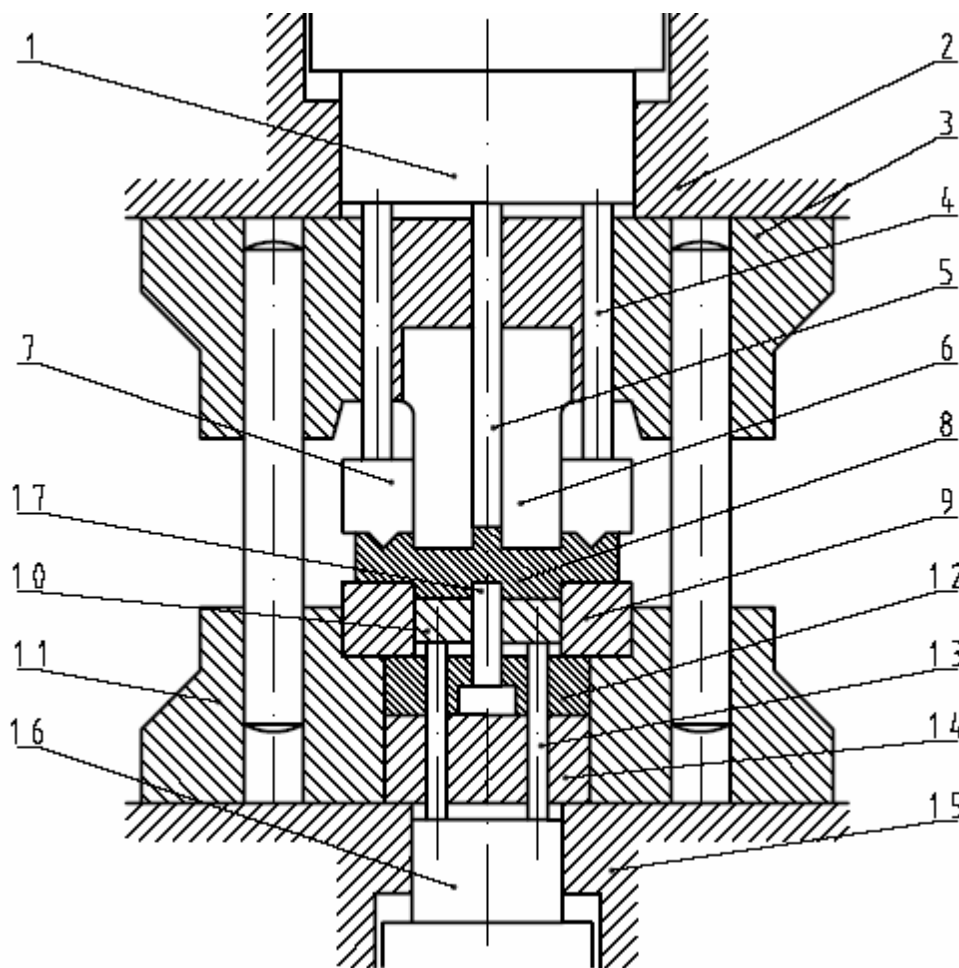
#### **Typy střížných nástrojů [1], [2]**

Z konstrukčního hlediska jsou rozděleny nástroje pro přesné stříhání do dvou základních skupin:

- nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem obr. 2.29,
- nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem obr. 2.30.

#### Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem

Nástroje tohoto typu se používají pro dlouhé a nesymetrické výstřižky s mnoha otvory. Přidržovač je veden pomocí pevného střížníku, viz. obr. 2.29. Síla potřebná k zatlačení nátláčné hrany a k sevření materiálu mezi přidržovačem střížnicí je vyvozena tlakovým pístem a přenášena na přidržovač pomocí kolíků. Vyhazovače výstřižků vyhazují odstřížek ze střížníků a jsou také poháněny tlakovým pístem. V otvoru střížnice se posouvá vyhazovač, který vede střížníky. Je poháněn také pomocí kolíků. Nevýhodou této konstrukce je vzájemné křížení střížné a vyhazovací síly. Při této konstrukci nástroje vznikají velké příčné síly, které zapříčiňují boční vychýlení pevného střížníku. Při lisování vzniká velký tlak a následná deformace tlačných kolíků. Způsobená deformace vyvolává nerovnoměrné rozložení lisovací síly na tlačné kolíky a nerovnoběžnost mezi přidržovačem a střížnicí.



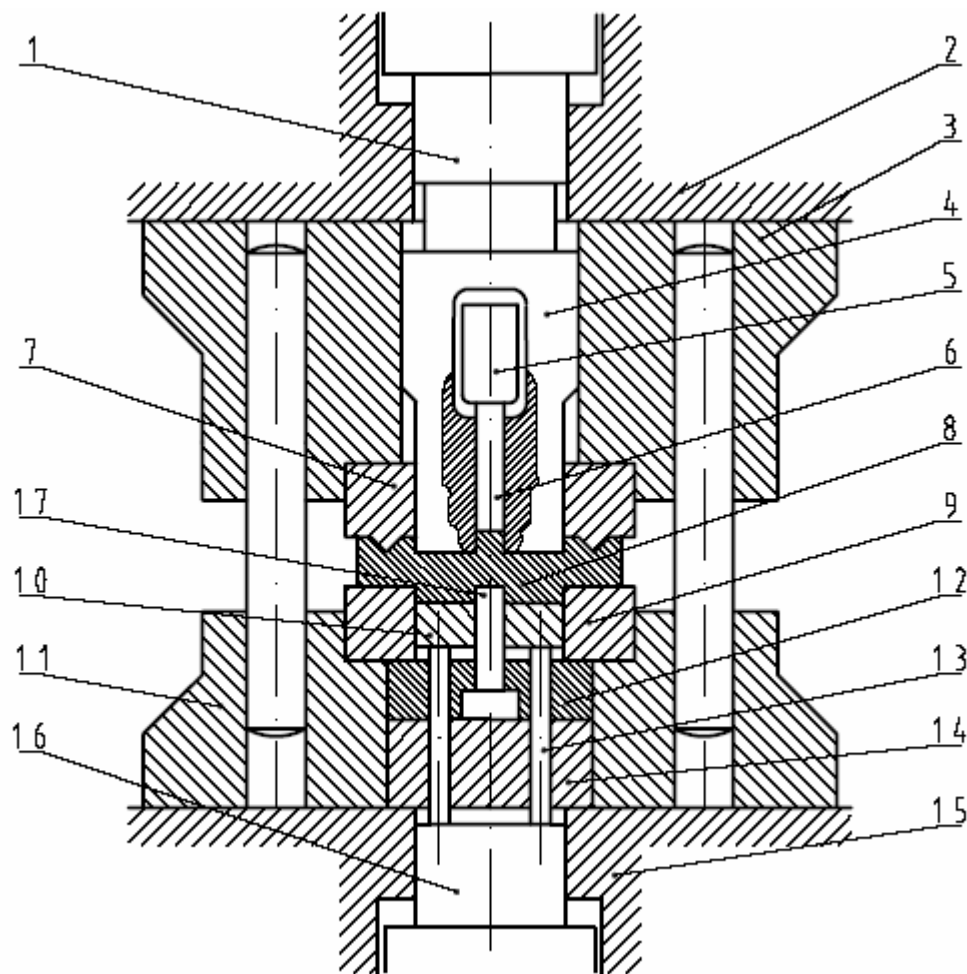
Obr. 2.29 Schéma nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [1]

1 – píst, 2 – vrchní upínací deska, 3 – horní část upínacího stojánu, 4 – kolík, 5 – vyhazovač, 6 – střížník, 7 – přidržovač, 8 – stříhaný materiál, 9 – střížnice, 10 – vyhazovač, 11 – spodní část upínacího stojánu, 12 – deska střížníku, 13 – kolík, 14 – podložka, 15 – spodní upínací deska, 16 – podložka vyhazovače, 17 – střížník

#### Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem

Dle autora [1] je většina nástrojů pro přesné stříhání dnes vyráběná podle této konstrukce. Systém se používá pro symetrické součásti do tloušťky 5 mm. V horní části vodícího stojánu je pevně připevněn přidržovač s nátlacnou hranou, viz. obr. 2.30. Funkční část střížníku je vedena v otvoru vyhazovače a přidržovače. Nevýhodou této konstrukce je značné zeslabení střížníku vlivem vybrání pro vyhazovač. Dolní část nástroje je uspořádána stejně jako dolní část nástroje na obr. 2.29.

Příčné síly, vznikající při stříhání, nevyvolávají negativní ohybová napětí. Síla od přidržovače probíhá přes horní část vodícího stojánu k upínací desce. Síla od střížníku je zachycena opěrnou deskou. Nedochozí zde ke křížení sil od vyhazovače a střížníku. Z tohoto důvodu je tato konstrukce nástroje výhodnější než nástroj s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem.



Obr. 2.30 Schéma nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem [1]

1 – opěrná deska, 2 – vrchní upínací deska, 3 – horní část upínacího stojánu, 4 – střížník, 5 – opěra vyhazovače výstřížků, 6 – vyhazovač, 7 – přidržovač, 8 – stříhaný materiál, 9 – střížnice, 10 – vyhazovač, 11 – spodní část vodícího stojánu, 12 – kotevní deska střížníku, 13 – kolík, 14 – podložka, 15 – spodní upínací deska, 16 – podložka vyhazovače, 17 – střížník

#### **Uložení nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem na lise [1]**

Při stříhání musejí všechny vzniklé síly v nástroji být odvedeny do stojanu lisu. Pro zajištění reprodukovatelnosti výstřížků musí mít nástroj a upínací prvky velkou tuhost. Ve spodní části nástroje je střížnice zatěžována střížnou silou a silou přidržovače. Přidržovací síla je odváděna střížnicí a podložkou. Jestliže podložka přechází 0,03 mm nad spodní rovinu upínacího stojánu, pak dolní část nástroje je minimálně zatížená. Nástroje se upínají pomocí tlakových kroužků, které mají různé velikosti v závislosti na rozměru nástroje. Pro minimální namáhání nástroje musejí tlakové kroužky přesahovat přes upínací desku o 0,03 mm, viz. obr. 2.31. Velká dosedací plocha mezi horní částí vodícího stojánu a horním tlakovým kroužkem umožňuje odvod síly přidržovače při malém měrném tlaku. Pro správnou funkci nástroje musí platit nerovnost (2.26) a (2.27):

$$1,5\phi B \leq \phi A \leq 2\phi B \quad (2.26)$$

$$\phi B_{\max} \leq \phi C_{\min} + 1,5H1 \quad (2.27)$$

kde:  $\phi A$  – průměr horního tlakového kroužku [mm],  
 $\phi C$  – průměr otvoru v horním tlakovém kroužku [mm],  
 $H1$  – výška horního tlakového kroužku [mm],  
 $\phi B$  – průměr otvoru v horní upínací desce [mm].

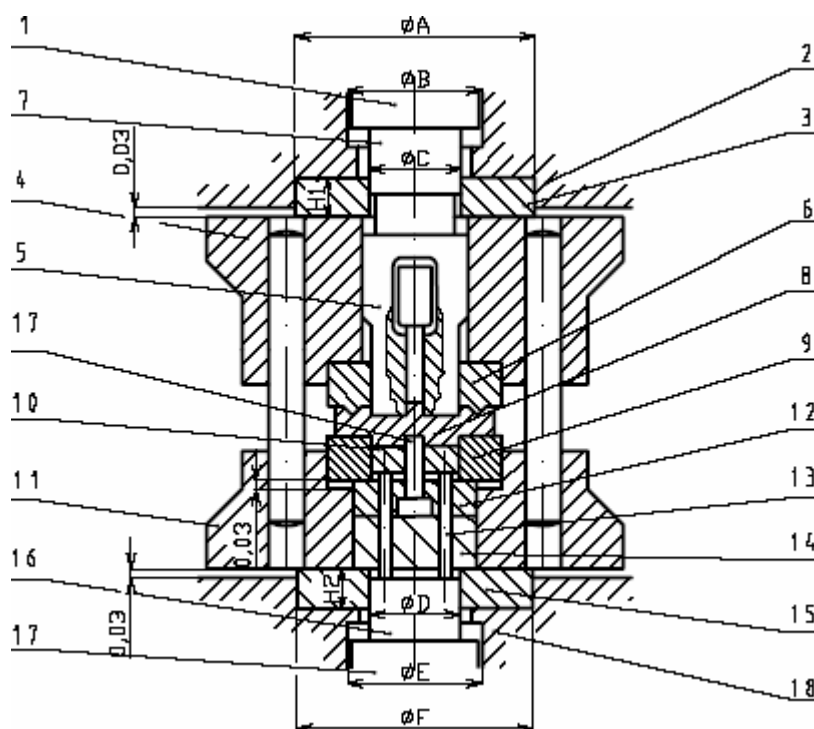
Spodní tlakový kroužek odvádí střížnou sílu od střížnice a střížníku z podložky do stojanu lisu. Měrný tlak na spodní tlakový kroužek je vysoký (okolo 500 MPa). Síla od vyhazovače je zachycována přímo beranem lisu pomocí podložky vyhazovače, která dosedá na vložku tlakového kroužku, viz. obr. 2.31. Pro správnou funkci nástroje musí platit nerovnost (2.28) a (2.29):

$$2 \phi E \leq \phi \leq 2,5 \phi E \quad (2.28)$$

$$\phi E_{\max} \leq \phi D_{\min} + H2 \quad (2.29)$$

kde:  $\phi F$  – průměr dolního tlakového kroužku [mm],  
 $\phi D$  – průměr otvoru v dolním tlakovém kroužku [mm],  
 $H2$  – výška dolního tlakového kroužku [mm],  
 $\phi E$  – průměr otvoru v dolní upínací desce [mm].

Tlakové kroužky mají kruhové otvory, ve kterých se pohybují vložky tlakových kroužků, rovněž kruhových tvarů. Správná poloha tlakové vložky vzhledem ke kolíkům vyhazovače je zajištěna při upínání nástroje na lis.



Obr. 2.31 Zajištění nástroje pro přesné stříhání na lisu [1]

1 – podložka střížníku, 2 – horní upínací deska, 3 – horní tlakový kroužek, 4 – horní část  
 vodícího stojánu, 5 – střížník, 6 – přidržovač, 7 – vložka tlakového kroužku, 8 – stříhaný  
 materiál, 9 – střížnice, 10 – vyhazovač, 11 – spodní část vodícího stojánu, 12 – kotevní  
 deska, 13 – kolík, 14 – podložka, 15 – spodní tlakový kroužek, 16 – vložka tlakového  
 kroužku, 17 – podložka vyhazovače, 18 – spodní upínací deska

**Určení rozměru střížníku a otvoru střížnice [9]**

Vlivem pružnosti materiálu se změny rozměry výstřížků či děr. S tím je nutno počítat při určování rozměrů otvoru střížnice a rozměrů střížníků. Vnější rozměr výstřížku se zvětší, rozměr díry se zmenší.

Při stříhání má střížnice rozměr výstřížku a střížník je o střížnou vůli menší. Při děrování má střížník rozměr výstřížku a střížnice je o střížnou vůli větší. Při stanovení rozměru střížníku a střížnice se postupuje dle vztahů 2.30 až 2.34, viz obr. 2.32.

**Pro vystřihování**

$$\text{– rozměr střížnice: } A_e = A_j - T + T_e \quad (2.30)$$

$$\text{– rozměr střížníku: } A_k = A_j - T - 2z - T_k \quad (2.31)$$

**Pro děrování**

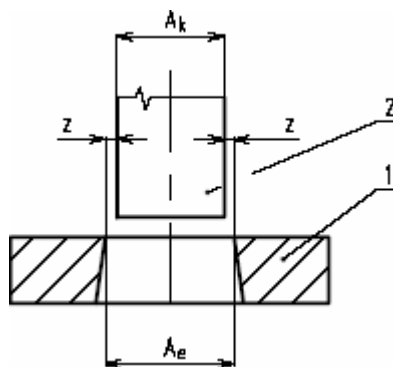
$$\text{– rozměr střížnice: } A_e = A_j + T + 2z + T_e \quad (2.32)$$

$$\text{– rozměr střížníku: } A_k = A_j + T - T_k \quad (2.33)$$

kde:  $A_e$  – rozměr střížnice [mm]  
 $A_k$  – rozměr střížníku [mm]  
 $A_j$  – jmenovitý rozměr výstřížku [mm]  
 $T$  – tolerance součásti [mm]  
 $z$  – střížná mezera [mm]  
 $T_e$  – výrobní tolerance střížnice [mm]  
 $T_k$  – výrobní tolerance střížníku [mm]

Pro výrobní toleranci střížníku a střížnice musí platit:

$$T_k \leq 0,5 \cdot T_e \text{ [mm]} \quad (2.34)$$



Obr. 2.32 Určení rozměru střížnice a střížníku [9]

**Konstrukce funkčních částí nástroje [1], [2], [9], [12]**

Všechny nástroje pro přesné stříhání jsou si konstrukcí a uspořádáním velmi podobné. Při konstrukci a výrobě funkčních částí nástroje pro přesné stříhání je nezbytné věnovat velkou pozornost vzájemnému ustavení a výrobní přesnosti jednotlivých dílů nástroje. Mezi nejdůležitější funkční části patří: střížník, střížnice, přidržovač, vyhazovač.

Konstrukce nástrojů musí být v souladu s bezpečnostními předpisy dle zákona 48/1982 sbírky a norem ČSN 22 6002 – 68.



### Střižník

Střižník představuje protikus střižnice. Základní funkcí střižníku je vlastní vyděrování otvoru nebo vnějšího tvaru součásti. Při přesném stříhání je střižník značně namáhán oproti konvenčnímu stříhání zejména proto, že má vnitřní otvory a vybrání pro vyhazovač.

Střižníky je možno rozdělit:

- podle tvaru průřezu (kruhové, obdélníkové, čtvercové, tvarové),
- podle způsobu upínání (upínací držák, osazení, roznýtování, zalití),
- podle způsobu vedení (vedené, nevedené).

#### Střižníky podle průřezu

Tyto střižníky mají nejčastěji konstantní průřez a vyrábějí se z jednoho kusu. Pouze rozměrné a tenké střižníky se zhotovují ze dvou částí. Nosná část je vyrobena z konstrukční oceli a funkční část je z nástrojové oceli. Nosná část je ke střižné části vždy středěna středícím průměrem a zajištěna proti vysunutí šrouby a kolíky.

Střižníky lze snadno vyrábět a ostřit. Mají dobré střižné vlastnosti. Styčná dosedací plocha se dimenzuje na měrný tlak 200 MPa.

#### Střižníky podle způsobu upínání

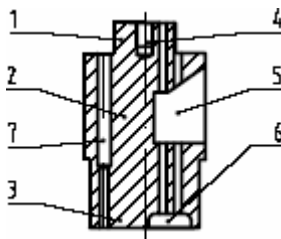
Nejjednodušší upínání střižníku je roznýtování jeho horní části v kotevní desce nebo vytvoření válcového osazení. Velké střižníky, které jsou daleko od sebe, je možno upnout jen za přírubu. Velké střižníky se upínají pomocí šroubů, malé střižníky složitějšího tvaru je možno zalít pryskyřicí v kotevní desce.

#### Střižníky podle způsobu vedení

Při konstrukci nástrojů pro přesné stříhání se vždy používá vedených střižníků. Střižníky jsou vedeny pomocí normalizovaných vodících stojánků.

Střižník pro přesné stříhání se skládá ze tří částí: tvarové (profilové) části, hlavy a dříku. V dříku střižníku jsou otvory a vybrání pro vyhazovače výstřižků. Tvarová část střižníku odpovídá tvaru výstřižku a má po celé délce stejný průřez, viz. obr. 2.33.

Při ustavení nástroje je střižník na začátku střižného procesu v rovině přidržovače nebo o 0,2 mm zasunut do přidržovače. Jestliže se střižník dostane nad rovinu přidržovače velmi se zhoršuje kvalita střižné plochy. Střižník musí být pojištěn kolíkem proti působení stírací síly a proti pootočení. Po ukončení vystřihování se nesmí ponořit do střižnice, protože by došlo k jeho rychlému opotřebení. Střižník je ve vyhazovači uložen suvně. Střižné hrany jsou broušeny, leštěny a odmagnetizovány.



Obr. 2.33 Střižník pro přesné stříhání [1]

- 1 – hlava, 2 – dřík, 3 – tvarová část, 4 – závit pro šroub k upevnění střižníku, 5 – vybrání pro podporu vyhazovače, 6 – vnitřní dutina, 7 – otvor pro vyhazovač

### Střižnice

S ohledem na konstrukci stříhadel, tvaru, rozměru a výrobních možností je možno střižnice rozdělit na :

- střižnice celistvé (jsou vyrobeny s jednoho kusu nástrojové oceli),
- střižnice skládané (vyrobeny z několika částí),
- vložkované (do desky z konstrukční oceli jsou vsazeny kalené vložky z nástrojové oceli nebo slinutých karbidů).

#### Celistvé střižnice

Celistvé střižnice mají dobrou rozměrovou stálost. Jejich výroba je složitá, proto se používají pro vystřihování jednoduchých tvarů a menších rozměrů. Vlivem kalení dochází k velkým deformacím, které musí být následně odstraněny.

#### Skládané střižnice

Skládané střižnice se používají pro tvarově složité výstřižky nebo pro výstřižky větších rozměrů. Jednotlivé části střižnice jsou výrobně jednoduché a podléhají menším deformacím po kalení. Po výrobě všech funkčních částí jsou zalisovány do objímky s přesahem H7/p6. Proti vysunutí z objímky jsou funkční části zajištěny kolíky nebo šrouby. Tyto střižnice se používají v hromadné a sériové výrobě, protože mají vyšší životnost, snadnější a levnější údržbu. Jsou výrobně dražší než celistvé střižnice.

#### Vložkované střižnice

Vložkované střižnice se používají pro rozměrné výstřižky. Tyto střižnice mají stejné výhody jako střižnice skládané. Vlivem vzniku předpětí při zalisování vložek se dosahuje dlouhé životnosti střižnice. Pro snadné broušení musejí vložky přechýlat 3 – 5 mm nad objímku. Vložky musejí být zajištěny proti vysunutí při zpětném pohybu střižníku.

U nástrojů pro přesné stříhání musí být zajištěna jednoznačná poloha střižnice a přidržovače ve vodícím stojánku, proto je střižnice zalisována do kuželového uložení s předpětím. Střižnice mají úkos 3°. Válcové kolíky zajišťují polohu v obvodovém směru.

Požadavky na střižnici :

- musí být vyrobena bez přechodů a broušena, popř. elektrojiskrově obrobena,
- v zeslabených místech podepřena tvarovými vložkami,
- ve vodícím stojánku zalisována se správným předpětím,
- konstruována s odvzdušňovací drážkou,
- konstruována s ochrannými ploškami proti poškození tlačné hrany,
- konstruována s nátláčnými hranami, jejichž geometrie odpovídá technologickým směrnici.

### Přidržovač

Přidržovač slouží k přitlačení stříhaného materiálu ke střižnici. Přidržovač vede střižník a je suvně uložen se střižníkem. Nátláčná hrana na vyhazovači vyvoluje trojosý stav napjatosti. Je mechanicky nejnamáhavější částí a její tvar a geometrie závisí na tvaru součástí. Proti poškození nátláčné hrany jsou na vyhazovači vytvářeny ochranné plošky. Ustavení vyhazovače do vodícího stojánku je konstrukčně shodné s ustavením střižnice. Nejčastěji je přidržovač kruhového tvaru s úkosem 3° zalisován s předpětím do vodícího stojánku.

Stejně jako střižnice může být přitlačná deska kruhová nebo obdélníková, podle konstrukce z jednoho kusu nebo skládaná.

### Vyhazovač

Vyhazovač spolu se střížníkem svírá stříhaný materiál, rovná výstřižek a vyhazuje jej ze střížnice. Dále slouží k vedení děrovacích střížníků. Je posuvně uložen v otvoru střížnice a má z ní vyčnívat 0,2 mm, musí být zajištěn proti pootočení a vysunutí. Pro složité tvary je vyhazovač složen z více částí. Každá část vyhazovače je ovládána pomocí tlačných kolíků.

### **Materiál nástrojů pro přesné stříhání [2], [9]**

Pouze správnou volbou materiálu na výrobu funkčních částí nástroje a vhodným postupem tepelného zpracování lze dosáhnout hospodárnosti a ekonomičnosti procesu stříhání, vysoké životnosti nástroje. Jsou vyvíjeny stále nové nástrojové materiály, které jsou odolnější proti opotřebení a dosahují vyšších mezí kluzu.

#### Určení materiálu na funkční části nástroje závisí na:

- typu nástroje,
- způsobu namáhání,
- stříhaném materiálu,
- na počtu stříhaných kusů.

#### Pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání se používá hlavně těchto materiálů:

- konstrukční ocel,
- ocel na odlitky,
- nástrojová ocel,
- slinutý karbid.

Přehled doporučených materiálů na funkční části nástroje pro přesné stříhání je uveden v tab. 2.7.

### Konstrukční ocel

Používá se oceli obvyklých jakostí nebo oceli ušlechtilé, ale jen velmi málo na nefunkční části nástroje.

Konstrukční oceli obvyklých jakostí jsou oceli tříd 10 a 11, které mají obvykle vyšší celkový obsah fosforu a síry. Obsahují též určité množství manganu, chromu a mědi. Tyto oceli se obvykle tepelně nezpracovávají. Nejčastěji se používají oceli: 11 373, 11 375, 11 500, 11 600, 11 700.

Konstrukční oceli ušlechtilé jsou buď uhlíkové nebo slitinové oceli třídy 12 až 17, které v porovnání s ocelmi obvyklých jakostí se vyznačují větší čistotou a stejnoměrností struktury, lepšími mechanickými vlastnostmi. Tyto oceli se obvykle tepelně zpracovávají. Nejčastěji se používají oceli: 12 010, 12 020, 12 060, 12 090, 14 220, 14 260.

### Ocel na odlitky

Ocel na odlitky se používá uhlíková ocel obvyklých jakostí (42 2650.2) a uhlíková ocel se zaručenou vrubovou houževnatostí (42 2653.1). Zhotovují se z ní základové desky vodících stojánků a základní tělesa rozměrných přidržovačů. Ocel na odlitky se používá pouze u nástrojů velkých rozměrů a hmotností.

### Nástrojové oceli

Nástrojové oceli jsou (třída 19) vyráběné v elektrických pecích, které zaručují reprodukovatelnou, stejnoměrnou a čistou tavbu. Nástrojové oceli pro stříhadla musí mít dostatečnou tvrdost a odolnost proti opotřebení bříty otěrem, dostatečnou houževnatost a velkou pevnost v tlaku. Používají se nástrojové oceli uhlíkové a nástrojové oceli slitinové.

Nástrojové oceli uhlíkové mají malou prokalitelnost, povrch součásti dosahuje vysoké tvrdosti. Užívá se jich jen pro menší nástroje nebo pro méně namáhané součásti stříhadla. Nevýhodou těchto ocelí je, že už při poměrně nízkých teplotách ( 200 °C – 250 °C ) se popouštějí a ztrácejí potřebnou tvrdost. Nejvíce se používají oceli: 19 083, 19 191, 19 192, 19 221.

Nástrojové oceli slitinové obsahují vysoké procento legujících prvků, které zvyšují prokalitelnost a odolnost proti otěru. Tyto oceli lze zakalit v celém průřezu a snášejí větší ohybové namáhání, jsou odolnější proti opotřebení než oceli uhlíkové. Nástrojové oceli jsou velice drahé a jejich použití je nutno dobře uvážit. Nejvíce se používají oceli: 19 312, 19 421, 19 436, 19 437, 19 452, 19 550, 19 574, 19 614, 19 732, 19 735.

### Slinutý karbid

Použití slinutých karbidů na konstrukci nástroje je ekonomicky výhodné pouze při velkosériové nebo hromadné výrobě nebo při výrobě výstřižků z materiálů, které způsobují velké opotřebení střížníku a střížnice, např. transformátorové plechy, korozivzdorné oceli, vysoce legované oceli. Pořizovací náklady ve srovnání s ocelovým nástrojem jsou 3 až 5krát vyšší. Životnost nástroje je mnohonásobně delší, proto náklady vztažené na jeden výstřižek jsou nižší. Trvanlivost střížných částí mezi jednotlivými ostřeními je delší. Jsou menší náklady na údržbu, kvalita výstřižků je větší.

Používá se převážně slinutých karbidů řady G. Jsou to slinuté karbidy na bázi WC s přísadou 15 – 30 % Co. Pro střížník a střížnici se většinou používá G 3. Tyto střížnice a střížníky dosahují vysoké pevnosti v tlaku až 6000 MPa (kalená nástrojová ocel má pevnost v tlaku jen 2500 MPa). Pevnost v ohybu a součinitel tepelné roztažnosti dosahuje menších hodnot než u oceli.

Nástroje ze slinutých karbidů vyžadují zvýšenou pevnost a tuhost nástroje. Základním požadavkem je, aby slinutý karbid byl namáhán jen tlakem, nikoli ohybem a tahem. Nástroje, u nichž je použit slinutý karbid, se liší od ocelového nástroje tím, že vodící sloupky, základová deska, upínací hlavice se konstruují o 50 % větší, aby se zajistilo přesné ustavení a namáhání pouze na tlak.

### **Tepelné zpracování střížných prvků nástroje [1]**

Rozdíl v rozměrech střížných prvků před a po zakalení jsou způsobeny rozměrovými změnami a deformacemi. Rozměrové změny jsou všechny změny v rozměrech střížných prvků způsobené pochodem tepelného zpracování a nedá se jim zabránit. Deformace střížných prvků při tepelném zpracování je naproti tomu způsobena neodborným provedením tepelného zpracování, deformaci lze zabránit. Změna rozměrů je závislá na anizotropii materiálu a na kalící teplotě. Při popouštění až do teploty 500 °C dochází rovnoměrně ke změnám rozměrů ve všech směrech. Malé střížné prvky, např. děrovací střížníky, vložky, malé vystřihovací střížníky s pravidelnými rozměry podléhají minimálním změnám při tepelném zpracování. Naopak u tvarových střížnic a střížníku je tvarová a rozměrová změna při tepelném zpracování velmi výrazná. Při tepelném zpracování musí být velmi pozvolný ohřev, aby se součást rovnoměrně prohřála. K dokonalému prohřátí jsou nezbytné prodlevy při ohřevu. Kalící teplota musí být dodržena v úzkém teplotním pásmu. Po ochlazení ve vodě, oleji nebo na vzduchu následuje několikanásobné popouštění k získání sekundární tvrdosti (pro získání sekundární tvrdosti je nutnost legujících prvků – V, W, Mo) a minimálnímu

vnitřnímu pnutí. Nejlepší rozměrovou stálost vykazují ledeburitické chromové nástrojové oceli.

Tab. 2.7 Doporučené materiály funkčních částí nástroje [2]

Funkční část nástroje		Materiál	Tepelné zpracování
střížnice		19 436	kaleno a popuštěno: 61 až 63 HRC, pro $t = 0,4 - 3\text{ mm}$
		19 437	58 až 61 HRC, pro $t = 3 - 7\text{ mm}$
		slinutý karbid typu G	pro sérii nad 700 000 kusů
kruhový střížník	dříková část	19 437	kaleno a popuštěno: 61 až 63 HRC, pro $t = 0,4 - 3\text{ mm}$
		slinutý karbid typu G	58 až 61 HRC, pro $t = 3 - 7\text{ mm}$
	hlava	19 437	pro sérii nad 700 000 kusů
tvarový střížník	dříková část	19 312	kaleno a popuštěno na 56 – 58 HRC
		slinutý karbid typu G	59 – 61 HRC
	hlava	19 312	pro sérii nad 700 000 kusů
přidržovač		19 437	kaleno a popuštěno na 56 – 58 HRC
vyhazovač		19 436	kaleno a popuštěno na 55 – 57 HRC
opěrná deska		19 436	kaleno a popuštěno na 58 – 60 HRC
zděř		19 452 – výkovek	kaleno a 2x popuštěno na 58 – 60 HRC

### Výroba nástrojů pro přesné stříhání [1], [2]

Výroba nástrojů pro přesné stříhání je velmi náročná a ekonomicky nákladná. Je nezbytné zajistit malou střížnou mezeru o konstantní šířce. K výrobě jsou nutné přesné stroje řízené NC programem a vysoká manuální zručnost při sestavení nástroje.

Nástroje se vyrábějí :

- přenesením profilu stříhu ze střížníku na střížnici,
- přenesením profilu stříhu ze střížnice na střížník,
- výroba střížnice nezávisle na výrobě střížníku.

#### Přenesením profilu stříhu ze střížníku na střížnici

Střížník a přidržovač se zhotoví pomocí frézky nebo soustruhu. Poté se provede tepelné zpracování střížníku. K eliminaci tvarových změn je nutno střížník tvarově brousit. Takto připravený střížník slouží jako nástroj k výrobě střížnice. Dutina ve střížnici se obrobí s přídkem 0,05 – 0,3 mm. Takto připravené části nástroje se ustaví ve vodícím stojánku. Malými rázy na střížník se odebírá přídavek v dutině střížnice za pravidelného odstraňování třísek. Přidržovač slouží k vedení střížníku. Obrobená dutina střížnice dosahuje kvality jemného broušení.

#### Přenesením profilu stříhu ze střížnice na střížník

Tento způsob výroby se uplatní, jestliže nástroj obsahuje skládanou střížnici i přidržovač. Postup výroby je opačný než při přenesení profilu stříhu ze střížníku na střížnici. Nejprve se obrobí jednotlivé části střížnice a provede se tepelné zpracování. Poté se střížnice, střížník a přidržovač ustaví do vodícího stojánku. Malými rázy na střížník se odebírá přídavek na střížníku za pravidelného odstraňování třísek. Přidržovač slouží k vedení střížníku. Tato metoda je přesnější než metoda přenesením profilu stříhu ze střížníku na střížnici, protože změny v rozměrech způsobené tepelným zpracováním střížnice působí u metody přenesením

profilu stříhu ze střížníku na střížnici bezprostředně na rozměry stříhané součásti. Avšak u metody přenesením profilu stříhu ze střížnice na střížník nemají změny v rozměrech vzniklé tepelným zpracováním střížníku vliv na rozměry vnějšího tvaru přesně stříhané součásti.

#### Výroba střížnice nezávisle na výrobě střížníku

Tento způsob výroby je zaměřen na vybavení nástrojárny nejmodernějšími stroji. Při tomto způsobu výroby je střížník a střížnice vyráběná nezávisle. Je nutné dodržet velmi úzké výrobní tolerance.

Výrobu lze provádět:

- konvenčními způsoby,
- metodou hloubení profilovou elektrodou,
- řezání neprofilovou elektrodou.

#### Konvenčními způsoby

U konvenčních způsobů výroby nástrojů je zvlášť problémová výroba střížnice. Funkční části se obrobí třískovým obráběním a poté je provedeno tepelné zpracování. Deformace vzniklá při kalení způsobí, že výrobek je nepřesný a nekvalitní. S vývojem nových řezných nástrojů lze provádět třískové obrábění po tepelném zpracování.

#### Metoda hloubení profilovou elektrodou

Funkční část nástroje je opracována až po tepelném zpracování, nevzniká negativní změna tvaru vlivem tepelného zpracování. Výchozím elementem při výrobě střížnice je pozitivní elektroda, která bývá vyrobena ze slitiny wolfram – měď. Její jmenovitý rozměr bývá o cca 0,06 mm menší než jmenovitý rozměr střížnice. Elektroda se v průběhu výroby zasouvá do polotovaru, v němž kopíruje svůj profil a lze dosáhnout přesnou a rovnoměrnou střížnou mezeru. Při výrobě přidržovače se užívá grafitové elektrody na níž je vyryta nátláčná hrana. Střížník je vyráběn negativní elektrodou ze slitiny wolfram – měď.

Nevýhody metody:

- velká pracnost a spotřeba materiálu při výrobě elektrod,
- omezená životnost elektrody,
- omezená geometrie nátláčné hrany.

#### Řezání neprofilovou elektrodou

Funkční část nástroje je opracována až po tepelném zpracování, nevzniká negativní změna tvaru vlivem tepelného zpracování. Tato metoda je založena na úběru materiálu realizovaném elektrickými periodickými výboji mezi drátovou elektrodou a obrobkem. Jako řezný nástroj se používá neizolovaný poměděný ocelový drát průměru 0,05 až 0,2 mm, který se odvíjí z cívky a prochází prizmatickým safírovým vedením. Stroje pracující na principu drátové eroze jsou vybaveny pracovním stolem, na který je upevněn obrobek ponořený v dielektriku. Tím bývá např. deionizovaná voda. Stroje jsou jako číslicově řízené.

Výhody metody :

- velká přesnost,
- opracování těžko obrobitelných materiálů, např. slinutých karbidů,
- malá spotřeba materiálu a snížení pracnosti.

Nevýhody metody :

- při použití deionizované vody jako dielektrika dochází u ocelí s malým obsahem legujících prvků ke značné korozi.

### 2.3.11 Lisy pro přesné stříhání [1], [10]

Lis při pracovním cyklu musí vykonat tři základní pohyby:

- uzavírání nástroje pro přesné stříhání,
- vlastní přesné stříhání,
- otevírání nástroje pro přesné stříhání.

Při uzavírání nástroje pro přesné stříhání přivádí beran lisu spodní a horní část nástroje do pracovní polohy. Tento pohyb probíhá velkou rychlostí. Přesné stříhání začíná zatlačením nátláčné hrany a končí úplným oddělením materiálu. Rychlost lisu při dělení materiálu je velmi malá. Při otevírání nástroje se beran lisu pohybuje opět velkou rychlostí do výchozí polohy. Při zpětném pohybu se ze střížníků stírá odpad a přesně střižená součást se vysune ze střížnice.

Lisy mají tři na sobě nezávislé berany. Při stříhání musí lis pracovat konstantní rychlostí. Všechny pohyby mohou být ovládány hydraulicky nebo pohyb střížníku je vyvozen mechanicky, pohyb přidržovače a vyhazovače je docílen hydraulicky. Ke stříhání součástí do tloušťky 6 mm se používá mechanických lisů. Pro součásti o tloušťce nad 6 mm se používá lisů, které mají všechny berany ovládány hydraulicky. Mechanické lisy pro přesné stříhání dosahují jmenovité síly 250 – 3000 kN, hydraulické lisy jmenovité síly 8000 kN.

Aby lis mohl plynule automaticky pracovat, musí být zařazen do výrobní linky. Schéma linky je v příloze XIII.

Linka kromě lisu obsahuje:

- odvíjecí zařízení,
- rovnačku materiálu,
- podavač svitku,
- mazací přístroj,
- nůžky na odpad,
- separátor odpadu,
- omílací a čistící zařízení.

Pro malé série lze trojčinné lisy nahradit běžným jednočinným lisem s přídatným hydraulickým nebo hydraulicko – pneumatickým zařízením. Přídatné zařízení zajišťuje funkci přidržovače a vyhazovače.

### Požadavky na lisy pro přesné stříhání [1]

Lis na hospodárnou výrobu přesně stříhaných součástí musí vedle obvyklých vlastností umožňovat ještě zvláštní vlastnosti:

- Největší síla přidržovače by měla dosahovat 40 %, maximální síla vyhazovače 20 % jmenovité tvářecí síly lisu. Síla přidržovače a vyhazovače má být v celém pracovním rozsahu libovolně nastavitelná a nezávislá na střížné síle.
- Pracovní schopnost lisu má odpovídat požadavkům přesného stříhání. Práce potřebná pro tuto technologii je několikanásobkem práce potřebné při konvenčním stříhání.
- Rychlost stříhání nemá být větší než  $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

- Stojan lisu musí vykazovat minimální pružnou deformaci, která smí působit pouze ve směru stříhu.
- Vedení beranu nesmí vykazovat vůli. Ani při mimostředném zatížení nesmí docházet k mimoběžnosti mezi horní a dolní částí nástroje.
- Lis musí být opatřen bezpečnostní pojistkou proti přetížení.
- Na ochranu obsluhy a drahých nástrojů musí být lis opatřen zařízením pro okamžité zastavení beranu a jeho návrat do výchozí polohy.
- Kuličkové vedení beranu,
- Řízení pomocí NC programu,

### **Výrobci lisů pro přesné stříhání**

V současné době ovládají světový trh v oblasti přesného stříhání švýcarské firmy Feintool a Schmid. Tyto firmy nejsou pouze výrobci lisů, ale vyrábějí nástroje pro přesné stříhání a komplexně zajišťují vývoj technologie přesného stříhání. Firmy Essa a Hydrel dříve patřily mezi významné výrobce lisů, ale v současnosti jsou tyto firmy součástí velkých koncernů.



### 3. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY SOUČÁSTI

Součást – aretační páka (číslo výkresu DIP-2008.1E1) se vyrábí jako díl vstřikovacího čerpadla automobilu. Aretační páka slouží k regulaci přívodu paliva. Výkres součásti je uveden v příloze XII.

#### 3.1 ZADANÁ SOUČÁST

Pro výrobu součásti „Aretační páka“ je použita konstrukční nelegovaná ocel 12 041.20, dle EN 10083-1 označení oceli C40E. Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Chemické složení oceli 12 041

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]
0,32 – 0,39	0,5 – 0,8	max 0,4	max. 0,035	max. 0,035

Mechanické vlastnosti oceli:

- pevnost v tahu  $R_m = 450 - 600$  MPa,
- mez kluzu  $R_e = 260$  MPa,
- mez pevnosti ve stříhu  $\tau_s = 390 - 520$  MPa,
- tažnost  $A_{10} = 20\%$ .

Stav – žíhaný, stupeň přetváření – nepřeválcovaný.

Uvedená ocel je vhodná k zušlechťování a na výrobu strojních součástí. Svařitelnost oceli je obtížná.

#### 3.2 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY ARETAČNÍ PÁKY

Stávající technologický postup výroby je složen ze stříhání v postupovém nástroji s následným třískovým obráběním a odstranění ostřin. Polotovarem je tabule plechu P3 – 1000 x 2000, ČSN EN 10 131 válcovaná za studena. Polotovár je nutno před vlastním stříhem nadělit na pruhy pomocí tabulových nůžek. Podávání pásu do nástroje je zajištěno ruční obsluhou. Krok v nástroji zajišťují odstříhovací nože. Technologický postup je složen ze 7 operací, jež probíhají v pořadí dle tab. 3.2.

Tab. 3.2 Výrobní postup stávající technologií výroby

Číslo operace	Pracovní třída TKK	Výrobní čas [min]	Popis operace	Náklady na přímé mzdy [Kč/ks]
1	6	0,02	stříhat pruhy plechu o šířce 50 mm	0,0200
2	7	0,035	stříhat v postupovém nástroji obvod součásti na čisto, vnitřní otvory s přídavkem 0,1 mm na obrábění	0,0457
3	5	0,025	vystružit $\varnothing 7$ H7 a $\varnothing 8$ H7 na čisto	0,0438
4	5		odstranit ostřiny u otvoru $\varnothing 7$ H7 a $\varnothing 8$ H7	0,0048
5	5		omílat	
6	7		kontrola – 100%	
7	5	0,009	konzervovat	0,0061

### 3.3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Stávající technologie je složena z velkého počtu operací. Tento počet operací způsobuje velkou časovou náročnost výroby. Mezi jednotlivými operacemi je nezbytná manipulace s materiálem. Posuv materiálu a odstranění ostřin u otvorů je vykonáváno dělníky. Tyto faktory velice prodražují a prodlužují stávající výrobu. Součást po vlastním vystřížení je obráběna, což přináší řadu nevýhod:

- časová náročnost výroby,
- zvýšení počtu zmetkovitosti,
- ekonomická náročnost na strojní a nářadovou vybavenost.

Z množství nevýhod plyne, že tato technologie je vhodná pouze pro malé série. Pro velkosériovou výrobu aretační páky je třeba stávající technologii inovovat, aby výroba součásti byla ekonomicky akceptovatelná a zajistila plánovaný nárůst výroby na 600 000 ks/rok ze současných 500 000 ks/rok.

## 4. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

Nedostatky stávající technologie uvedené v kapitole 3.3 lze odstranit technologiemi přesného stříhání. Každá z těchto technologií je vhodná pro různou sériovost, tvarovou složitost součástí. Pro geometricky přesné výstřižky s kvalitní střížnou plochou lze využít tyto varianty přesného stříhání:

- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- stříhání se zkoseným přidržovačem,
- přistříhování,
- kalibrování,
- přesné stříhání s nátláčnou hranou.

### Stříhání se zaoblenou střížnou hranou

Charakteristika technologie je popsána v kapitole 2.2.1. Technologie není vhodná pro sériovou výrobu, protože vyžaduje velký počet operací. Výstřižek nelze zhotovit na jeden zdvih lisu. Konstrukce nástroje je jednoduchá, využití materiálu je shodné jako u konvenčního stříhání.

Technologie není vhodná pro výrobu zadané součásti.

### Stříhání se zkoseným přidržovačem

Charakteristika technologie je popsána v kapitole 2.2.2. Technologie vyžaduje vícečinný lis. Technologií nelze dosáhnout přesnost IT 7, která je požadována u zadané součásti. Působením přidržovače je větší spotřeba materiálu než u konvenčního stříhání.

Technologie není vhodná pro výrobu zadané součásti.

### Přistříhování

Charakteristika technologie je popsána v kapitole 2.2.3. Tato technologie zpřesňuje předhotovené součásti. Použití této technologie přináší velký počet operací, časově náročnou výrobu, proto není vhodná pro sériovou výrobu. U polotvrdých a tvrdých uhlíkových ocelí lze dosáhnout požadovanou přesnost IT 7 a drsnost povrchu  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ .

Technologie není vhodná pro výrobu zadané součásti.

### Kalibrování

Charakteristika technologie je popsána v kapitole 2.2.4. Tato technologie, stejně jako přistříhování, zpřesňuje předstřížené nebo předobrobené součásti. Součást nelze zhotovit na jeden zdvih lisu. Použití této technologie přináší velký počet operací, časově náročnou výrobu, proto není vhodná pro sériovou výrobu.

Technologie není vhodná pro výrobu zadané součásti.

### Přesné stříhání s nátláčnou hranou

Charakteristika technologie je popsána v kapitole 2.2.5. Technologii lze snadno automatizovat, proto je vhodná pro velkosériovou výrobu. Na jeden zdvih lisu lze zhotovit finální výstřižek. Požadovanou přesnost IT 7 a drsnost povrchu  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$  lze snadno dosáhnout. Nevýhodou této technologie je složitá výroba nástroje, nutnost speciálního lisu a větší spotřeba materiálu.

Porovnáním výše uvedených technologií vyplývá, že pro výrobu zadané součásti je nejvhodnější technologie přesného stříhání s nátláčnou hranou. Inovací výroby přesným stříháním s nátláčnou hranou se získá malý počet operací, vysoká produktivita výroby a minimální manipulace s materiálem. Vlivem těchto faktorů dojde ke snížení nákladů u zadané součásti.

#### 4.1 NOVĚ NAVRŽENÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY ARETAČNÍ PÁKY

Zadaná součást bude stříhána ze svitku plechu. V jednom kroku na jeden zdvih lisu budou vystříženy dvě součásti. Polotovarem bude svitek plechu ČSN 42 5350, válcovaný za studena s mezní úchylností tloušťky  $\pm 0,08$  mm. Svitek plechu bude před vlastním stříháním uložen v automatickém odvíjecím a rovnacím zařízení. Posuv svitku a krok v nástroji bude zajištěn automatickým podavačem. Nově navržený technologický postup se skládá z 5 operací dle tab. 4.1.

Tab. 4.1 Výrobní postup inovační technologií výroby

Číslo operace	Pracovní třída TKK	Výrobní čas [min]	Popis operace	Náklady na přímé mzdy [Kč/ks]
1	7	0,018	stříhat otvory $\varnothing 7$ H7 a $\varnothing 8$ H7 a obvod součásti na jeden zdvih lisu ve střížném nástroji s nátlakovou hranou	0,0144
2	5		odstranění ostrin	
3	5		omílat	
4	7		kontrola – 100%	
5	5	0,009	konzervovat	0,0061

Díky novému technologickému postupu se ušetří několik výrobních operací (stříhání pruhů, vystružování). Toto snížení operací přinese snížení nákladů na jeden vyrobený kus.

#### 4.2 KONTROLA VHODNOSTI ZADANÉ SOUČÁSTI

Aby bylo možno zadanou součást ekonomicky vyrábět technologií přesného stříhání, musí splňovat tvarové a rozměrové požadavky.

##### 4.2.1 Kontrola vhodnosti zpracovatelského materiálu

Materiály, které jsou vhodné pro technologii přesného stříhání jsou uvedeny v kapitole 2.3.9. Aretační páka je vyráběna z materiálu 12 041.20. Tento materiál splňuje podmínku vhodnosti pro přesné stříhání, kterou je maximální mez pevnosti  $R_m = 600$  MPa. Chemické složení materiálu 12 041.20 je velice podobné s materiálem 12 040.1. Materiál 12 040.1 v praxi velice dobře vyhovuje technologii přesného stříhání.

Z výše uvedeného vyplývá, že materiál 12 041.20 je vhodný pro přesné stříhání.

##### 4.2.2 Kontrola předepsané rozměrové přesnosti a drsnosti povrchu

Dosahovaná přesnost výroby technologií přesného stříhání je uvedena v kapitole 2.3.7. Vyráběná součást, viz. příloha XII, má pouze tolerované otvory, rozteč otvorů a tloušťku součásti. Přesnost tloušťky součásti lze ovlivnit pouze polotovarem. Toleranci otvorů (H7) a toleranci rozteče otvorů ( $\pm 0,05$ ) lze pomocí technologie přesného stříhání snadno dosáhnout. U součásti je požadovaná drsnost povrchu  $R_a = 1,6$   $\mu\text{m}$ . Tuto drsnost povrchu lze technologií přesného stříhání dosáhnout.

### 4.2.3 Kontrola technologičnosti tvaru zadané součásti

Technologičnost tvaru součásti se zabývá kapitola 2.3.7.

#### Kontrola poloměrů rohů a hran

Pro tloušťku zadané součásti 3 mm je dle obr. 2.26 minimální poloměr rohů 0,3 mm při úhlu  $\alpha = 100^\circ$ . Protože obr. 2.26 platí pro součásti s mezí pevnosti  $R_m = 400$  MPa, musí se minimální poloměr pro zadanou součást přepočítat. Pro zadanou součást  $R_m = 600$  MPa.

$$\text{– minimální vnější poloměr: } R_{\min} = \frac{0,3 \cdot 600}{400} = \underline{\underline{0,45\text{mm}}} \quad (4.1)$$

$$\text{– minimální vnitřní poloměr: } r_{\min} = 0,45 \cdot 0,6 = 0,27 \approx \underline{\underline{0,3\text{mm}}} \quad (4.2)$$

U zadané součásti je nutno všechny vnější ostré přechody nahradit  $R_{\min} = 0,45$  mm a všechny vnitřní ostré přechody nahradit  $r_{\min} = 0,3$  mm. Tato úprava tvaru neovlivní funkčnost součásti.

#### Kontrola minimálního průměru otvoru

Minimální průměr otvoru je 1,8 mm, dle tab. 2.5. Protože tab. 2.5 platí pro součást s mezí pevnosti  $R_m = 400$  MPa, je nutno minimální průměr pro zadanou součást přepočítat.

$$\text{– minimální průměr otvoru: } d_{\min} = \frac{1,8 \cdot 600}{400} = \underline{\underline{2,7\text{mm}}} \quad (4.3)$$

Všechny otvory u zadané součásti jsou větší než minimální průměr.

#### Kontrola vzdálenosti mezi otvory

Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou je 2 mm, dle obr. 2.27. Z této vzdálenosti se podle rovnice (2.24) vypočítá minimální vzdálenost mezi otvory.

$$\text{– minimální vzdálenost mezi otvory: } W_1 = W_2 \cdot 0,85 = 2 \cdot 0,85 = \underline{\underline{1,7\text{mm}}} \quad (4.4)$$

Otvor u zadané součásti musí ležet v minimální vzdálenosti 1,7 mm od okraje. Otvory u zadané součásti splňují minimální vzdálenost od okraje i minimální vzdálenost mezi otvory.

## 4.3 TECHNOLOGICKÉ A KONTROLNÍ VÝPOČTY

Technologické výpočty jsou nezbytné pro získání parametrů střižného nástroje a lisu, které zajistí funkčnost a ekonomičnost technologie přesného stříhání. Kontrolní výpočty se provádějí u funkčních částí nástroje (střižníku a střižnice). Ověřují zda funkční část nástroje vyhovuje silovému zatížení. Většinu vypočtených hodnot je nutné porovnat s předepsanými mezními hodnotami.

### 4.3.1 Výpočet délky pásu namotaného do svitků plechu

Svítek plechu je složen z plechového pásu, který je namotán na bubnu. Vnitřní průměr bubnu je 500 mm a vnější průměr bubnu je 1200 mm. Délka pásu na bubnu se vypočítá:

$$l_p = \frac{D_B^2 - d_B^2}{4 \cdot t} \cdot \pi = \frac{1,2^2 - 0,5^2}{4 \cdot 0,003} \cdot \pi = \underline{\underline{311,54\text{m}}} \quad (4.5)$$

kde:  $l_p$  – délka svitku [m]  
 $t$  – tloušťka svitku [m]  
 $D_B$  – vnější průměr svitku [m]  
 $d_B$  – vnitřní průměr svitku [m]

### 4.3.2 Nástřihový plán

Při technologii přesného stříhání musí být dostatečně velký postranní odpad a šířka můstku pro zatlačení nátláčné hrany. Stanovení postranního odpadu a šířky můstku je podle kapitoly 2.3.7, a tab. 2. 4.

- šířka můstku  $b_2 = 5,5$  mm,
- velikost postranního odpadu  $b_1 = 4,5$  mm.

Velikost kroku a šířka pásu plechu závisí na geometrickém uspořádání výstřižků na svitku. Snaha při návrhu nástřihového plánu je snaha o co největší využití materiálu. Tento projekt obsahuje návrh čtyř nástřihových plánů s výpočtem technologického využití materiálu. Při zavádění svitku do nástroje je 80 mm délky svitku odpad, protože je nutné protáhnout svitek do obou vedení pasu.

#### Nástřihový plán I

Uspořádání výstřižků na svitku plechu je zobrazeno v příloze VIII.

- krok  $K = 49,5$  mm

$$\text{– rozměr svitku: } t \cdot B \cdot l_p = 3 \cdot 25 \cdot 311540 \text{ [mm]} \quad (4.6)$$

kde:  $t$  – tloušťka svitku [mm]  
 $B$  – šířka svitku [mm]  
 $l_p$  – délka svitku [mm]

$$\text{– plocha svitku: } S_p = B \cdot l_p = 25 \cdot 311540 = 7788500 \text{ mm}^2 \quad (4.7)$$

kde:  $S_p$  – plocha svitku [mm<sup>2</sup>]

– počet výstřižků ze svitku:

$$n_v = \frac{l_p - o}{K} = \frac{311540 - 80}{49,5} = 6292,12 \approx 6292 \text{ výstřižků} \quad (4.8)$$

kde:  $K$  – krok [mm]  
 $n_v$  – počet výstřižků [ks]  
 $o$  – odpad při zavádění svitku [mm],  $o = 80$  mm

– využití materiálu:

$$k_m = \frac{(S_s + S_o) \cdot n_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{(375,97 + 88,75) \cdot 6292}{7788500} \cdot 100 = \underline{\underline{37,55 \%}} \quad (4.9)$$

kde:  $S_s$  – plocha součásti [mm<sup>2</sup>]  
 tato plocha byla určena pomocí software proewildfire  $S_s = 375,97 \text{ mm}^2$ , kontrolní výpočet je uveden v příloze XIV.  
 $S_o$  – plocha otvorů v součásti [mm<sup>2</sup>],  $S_o = 88,75 \text{ mm}^2$

**Nástřihový plán II**

Uspořádání výstřižků na svitku plechu je zobrazeno v příloze IX.

– krok  $K = 19$  mm

– rozměr svitku:  $t \cdot B \cdot l_p = 3 \cdot 53 \cdot 311540$  [mm] (4.10)

– plocha svitku:  $S_p = B \cdot l_p = 53 \cdot 311540 = 16511620$  mm<sup>2</sup> (4.11)

– počet výstřižků ze svitku:

$$n_v = \frac{l_p - o}{K} = \frac{311540 - 80}{19} = 16392,63 \approx 16392 \text{ výstřižků} \quad (4.12)$$

– využití materiálu:

$$k_m = \frac{(S_s + S_o) \cdot n_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{(375,97 + 88,75) \cdot 16392}{16511620} \cdot 100 = \underline{\underline{46,13\%}} \quad (4.13)$$

**Nástřihový plán III**

Uspořádání výstřižků na svitku plechu je zobrazeno v příloze X.

– krok  $K = 36,5$  mm

– při zavádění svitku do nástroje nedojde k vystřižení 2.součásti, viz, příloha X

– rozměr svitku:  $t \cdot B \cdot l_p = 3 \cdot 53 \cdot 311540$  [mm] (4.14)

– plocha svitku:  $S_p = B \cdot l_p = 53 \cdot 311540 = 16511620$  mm<sup>2</sup> (4.15)

– počet výstřižků ze svitku:

$$n_v = \frac{(l_p - o) \cdot 2}{K} = \frac{(311540 - 80) \cdot 2}{36,5} = 17066,3 \approx 17066 \text{ výstřižků} \quad (4.16)$$

– využití materiálu:

$$k_m = \frac{(S_s + S_o) \cdot (n_v - 1)}{S_p} \cdot 100 = \frac{(375,97 + 88,75) \cdot (17066 - 1)}{16511620} \cdot 100 = \underline{\underline{48,03 \%}} \quad (4.17)$$

**Nástřihový plán IV**

Uspořádání výstřižků na svitku plechu je zobrazeno v příloze XI.

– krok  $K = 49,5$  mm

– při zavádění svitku do nástroje nedojde k vystřižení 2.součásti, viz. příloha XI

– rozměr svitku:  $t \cdot B \cdot l_p = 3 \cdot 43 \cdot 311540$  [mm] (4.18)

– plocha svitku:  $S_p = B \cdot l_p = 43 \cdot 311540 = 13396220$  mm<sup>2</sup> (4.19)

– počet výstřížků ze svitku:

$$n_v = \frac{(l_p - o) \cdot 2}{K} = \frac{(311540 - 80) \cdot 2}{49,5} = 12584,24 \approx 12584 \text{ výstřížků} \quad (4.20)$$

– využití materiálu:

$$k_m = \frac{(S_s + S_o) \cdot (n_v - 1)}{S_p} \cdot 100 = \frac{(375,97 + 88,75) \cdot (12584 - 1)}{13396220} \cdot 100 = \underline{\underline{43,65}} \% \quad (4.21)$$

### Zhodnocení nástřihových plánů

Z důvodu nepravidelnosti tvaru součásti je využití materiálu poměrně malé. Varianta nástřihového plánu I a IV má nejmenší využití materiálu a velký krok. Varianta nástřihového plánu III má největší využití materiálu, proto pro konstrukci nástroje bude tato varianta použita. Velikost kroku musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k ovlivňování výstřížků od nátláčných hran. Na jeden hlavní zdvih lisu budou zhotoveny dva výstřížky.

#### 4.3.3 Výpočet počtu svitků potřebných za rok

Dle zvoleného nástřihového plánu III lze z jednoho svitku zhotovit 17065 výstřížků. Pro výrobní dávku 600 000 ks/rok je třeba svitků:

$$\text{– počet svitků: } P_s = \frac{Q}{n_v} = \frac{600000}{17065} = 35,16 \approx \underline{\underline{36}} \text{ svitků} \quad (4.22)$$

kde:  $P_s$  – počet svitků zpracovaných za rok [ks]

$Q$  – výrobní dávka [ks/rok]

$n_v$  – počet výstřížků ze svitku [ks]

#### 4.3.4 Volba nátláčné hrany

Nátláčná hrana bude kopírovat vnější tvar součásti po celém obvodu. Pro děrování otvorů se nátláčná hrana nepoužívá. Protože stříhaná součást má pouze tloušťku 3 mm, nátláčná hrana bude zhotovena pouze na přidržovači. Volba geometrie nátláčné hrany je stanovena podle kapitoly 2.3.7 a tab. 2.2.

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| – vzdálenost nátláčné hrany od obrysu stříhu | $a = 2,1 \text{ mm},$     |
| – výška nátláčné hrany                       | $h = 0,45 \text{ mm},$    |
| – odlehčená výška nátláčné hrany             | $h + i = 0,6 \text{ mm},$ |
| – poloměr zaoblení                           | $r = 0,09 \text{ mm},$    |
| – úhel                                       | $\beta = 45^\circ,$       |
| – úhel                                       | $\gamma = 30^\circ.$      |

#### 4.3.5 Střížná vůle

Střížná vůle má rozhodující vliv na kvalitu střížné plochy. Střížná vůle musí být dodržena i při časté demontáži nástroje, častém upínání nástroje na lisu a hlavně při vlastním střížném procesu. Střížná vůle pro tloušťku materiálu 3 mm se vypočítá podle kapitoly 2.3.7 rovnice (2.22).

$$v = 2 \cdot m = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{450} = 0,0143 \text{ mm} \quad (4.23)$$



Pro ověření střižné vůle lze použít tab. 2.3. V této tabulce je střižná vůle vypočítána jako 0,5 % z tloušťky materiálu. Pro tloušťku plechu 3 mm je dle tab. 2.3 střižná vůle 0,015 mm.

Pro návrh nástroje volím střižnou vůli  $v = \underline{\underline{0,014 \text{ mm}}}$

#### 4.3.6 Výpočet sil pro přesné stříhání

Výpočet sil je nutný ke správnému určení střižného lisu. Postup výpočtu je uveden v kapitole 2.3.5. Při výpočtech uvažuji nejvyšší hodnoty meze pevnosti v tahu  $R_m$  a meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ . Síly jsou počítány pro jeden výstřižek.

– výpočet střižné síly :

$$F_S = S \cdot \tau_s \cdot n = t \cdot l \cdot \tau_s \cdot n = 3 \cdot 156,95 \cdot 520 \cdot 1,2 = 293810,4 = \underline{\underline{293,81 \text{ kN}}} \quad (4.24)$$

součinitel otupení volím dle autora [5]  $n = 1,2$

výpočet délky křivky stříhu – l

tato délka byla určena pomocí software proewildfire  $l = 156,95 \text{ mm}$ , kontrolní výpočet je uveden v příloze XV.

– výpočet přidržovací síly:

$$F_P = 4 \cdot R_m \cdot L \cdot h = 4 \cdot 600 \cdot 121,64 \cdot 0,45 = 131371,2 = \underline{\underline{131,37 \text{ kN}}} \quad (4.25)$$

výpočet délky nátláčné hrany – L

tato délka byla určena pomocí software proewildfire  $L = 123,15 \text{ mm}$ , kontrolní výpočet je uveden v příloze XVI.

– výpočet vyhazovací síly:

$$F_V = S_s \cdot p = 375,97 \cdot 70 = 26317,9 = \underline{\underline{26,32 \text{ kN}}} \quad (4.26)$$

volím  $p = 70 \text{ MPa}$

– výpočet celkové síly potřebné pro vystřižení jedné součásti:

$$\begin{aligned} F_C &= F_P + F_V + F_S \\ F_C &= 131,37 + 26,32 + 293,81 \\ F_C &= \underline{\underline{451,5 \text{ kN}}} \end{aligned} \quad (4.27)$$

– výpočet celkové síly potřebné pro vystřižení dvou výstřižků: (4.28)

$$\begin{aligned} F_{C2} &= F_C + F_C \\ F_{C2} &= 451,5 + 451,5 \\ F_{C2} &= \underline{\underline{903 \text{ kN}}} \end{aligned}$$

#### 4.3.7 Výpočet práce při přesném stříhání

Výpočet práce je nutný k určení, zda lis bude stříhat plynule nebo s prodlevou mezi zdvihy. Prodleva je nutná k nashromáždění energie. Výpočet práce je popsán v kapitole 2.3.6.

$$\text{– výpočet střížné práce: } A_s = \frac{0,48 \cdot l \cdot R_m \cdot t^2}{1000} = \frac{0,48 \cdot 156,95 \cdot 600 \cdot 3^2}{1000} = \underline{\underline{406,82J}} \quad (4.29)$$

$$\text{– výpočet práce přidržovače: } A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot h \cdot L}{1000} = \frac{2 \cdot 600 \cdot 0,45 \cdot 121,64}{1000} = \underline{\underline{64,67J}} \quad (4.30)$$

$$\text{– výpočet práce vyhazovače: } A_v = \frac{S_s \cdot p \cdot t}{1000} = \frac{375,97 \cdot 70 \cdot 3}{1000} = \underline{\underline{78,96J}} \quad (4.31)$$

– výpočet celkové práce potřebné pro vystřížení jednoho výstřížku:

$$A_C = A_s + A_p + A_v = 406,82 + 64,67 + 78,96 = \underline{\underline{550,45J}} \quad (4.32)$$

– výpočet celkové práce potřebné pro vystřížení dvou výstřížků:

$$A_{C2} = A_{C1} + A_{C2} = 550,45 + 550,45 = \underline{\underline{1100,9J}} \quad (4.33)$$

#### 4.3.8 Pevnostní výpočty nástroje [2], [9]

##### Stanovení tloušťky střížnice

Výpočet střížnice se zjednodušuje na výpočet rovinných desek namáhaných ohybem. Tlak na střížnici je rovnoměrně rozložen po střížném obvodu.

– minimální výška střížnice je dána dle autora [2] vztahem:

$$f = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 2 \cdot 293810} = \underline{\underline{38,88mm}} \quad (4.34)$$

kde: f – minimální tloušťka střížnice [mm]

$F_s$  – střížná síla,  $F_s = 293810$  N – vypočítána v kapitole 4.3.6

##### Kontrola děrovacího střížníku Ø7 k6 na otláčení

$$\sigma_{DOV} \geq \frac{F_s}{S_{ST}}$$

$$\sigma_{DOV} \geq \frac{\pi \cdot d \cdot t \cdot \tau_s \cdot n}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 520 \cdot 1,2}{7^2} = \underline{\underline{1069,71MPa}} \quad (4.35)$$

$$\underline{\underline{1600MPa}} \geq \underline{\underline{1069,71MPa}}$$

– podmínka je splněna

kde:  $\sigma_{DOV}$  – dovolené napětí,  $\sigma_{DOV} = 1600 - 1800$  MPa

$S_{ST}$  – plocha střížníku [mm<sup>2</sup>]

$F_s$  – střížná síla,

součinitel otupení volím dle autora [5]  $n = 1,2$

Kontrola děrovacího střížníku Ø8 k6 na otláčení

$$\sigma_{DOV} \geq \frac{F_S}{S_{ST}}$$

$$\sigma_{DOV} \geq \frac{\pi \cdot d \cdot t \cdot \tau_s \cdot n}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 520 \cdot 1,2}{8^2} = \underline{\underline{936MPa}} \quad (4.36)$$

$$\underline{\underline{1600MPa}} \geq \underline{\underline{936MPa}}$$

– podmínka je splněna

kde:  $\sigma_{Dov}$  – dovolené napětí,  $\sigma_{Dov} = 1600 - 1800$  MPa  
 $S_{ST}$  – plocha střížníku [mm<sup>2</sup>]  
 $F_S$  – střížná síla,  
 součinitel otupení volím dle autora [5]  $n = 1,2$

Kontrola hlavního střížníku na otláčení

$$\sigma_{DOV} \geq \frac{F_S}{S_{ST}}$$

$$\sigma_{DOV} \geq \frac{293810}{375,97} = \underline{\underline{781,47MPa}} \quad (4.37)$$

$$\underline{\underline{1600MPa}} \geq \underline{\underline{781,47MPa}}$$

– podmínka je splněna

kde:  $\sigma_{Dov}$  – dovolené napětí,  $\sigma_{Dov} = 1600 - 1800$  MPa  
 $S_{ST}$  – plocha střížníku,  $S_{ST} = 375,97$  mm<sup>2</sup> – vypočítána v kapitole 4.3.2  
 $F_S$  – střížná síla,  $F_S = 293810$  N – vypočítána v kapitole 4.3.6

Kontrola děrovacího střížníku Ø7 k6 na vzpěr

Střížník na vzpěr se kontroluje dle Eulerova vztahu jako prut na jednom konci vetknutý a druhém konci volný. Musí platit:

$$l_{KRIT} \geq c$$

$$\underline{\underline{88,95mm}} \geq \underline{\underline{65mm}} \quad (4.38)$$

– podmínka je splněna

kde:  $c$  – délka střížníku [mm]  
 $l_{krit}$  – kritická délka střížníku [mm]

$$l_{KRIT} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_1 \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{n_1 \cdot d \cdot t \cdot \pi \cdot \tau_s \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 7^4}{64}}{1,5 \cdot 7 \cdot 3 \cdot \pi \cdot 520 \cdot 1,2}} = \underline{\underline{88,95mm}} \quad (4.39)$$

kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa  
 $I$  – moment setrvačnosti [mm<sup>4</sup>]

$n_1$  – koeficient bezpečnosti,  $n_1 = 1,5$   
 $F_S$  – sřížná síla

#### Kontrola děrovacího sřížníku Ø8 k6 na vzpěr

Sřížník na vzpěr se kontroluje dle Eulerova vztahu jako prut na jednom konci vetknutý a druhém konci volný. Musí platit:

$$l_{KRIT} \geq c$$

$$\underline{\underline{106,05mm \geq 65mm}}$$

– podmínka je splněna

kde:  $c$  – délka sřížníku [mm]  
 $l_{KRIT}$  – kritická délka sřížníku [mm]

$$l_{KRIT} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_1 \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{n_1 \cdot d \cdot t \cdot \pi \cdot \tau_s \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^4}{64}}{1,5 \cdot 8 \cdot 3 \cdot \pi \cdot 520 \cdot 1,2}} = \underline{\underline{106,05mm}} \quad (4.40)$$

kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa  
 $I$  – moment setrvačnosti [mm<sup>4</sup>]  
 $n_1$  – koeficient bezpečnosti,  $n_1 = 1,5$   
 $F_S$  – sřížná síla

#### Kontrola hlavního sřížníku na vzpěr

Sřížník na vzpěr se kontroluje dle Eulerova vztahu jako prut na jednom konci vetknutý a druhém konci volný. Musí platit:

$$l_{KRIT} \geq c$$

$$\underline{\underline{102,68mm \geq 49,5mm}}$$

(4.41)

– podmínka je splněna

kde:  $c$  – délka sřížníku [mm]  
 $l_{KRIT}$  – kritická délka sřížníku [mm]

$$l_{KRIT} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_1 \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{a \cdot b^3}{12}}{F_S \cdot n_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{23 \cdot 8,5^3}{64}}{293810 \cdot 1,2}} = \underline{\underline{102,68mm}} \quad (4.42)$$

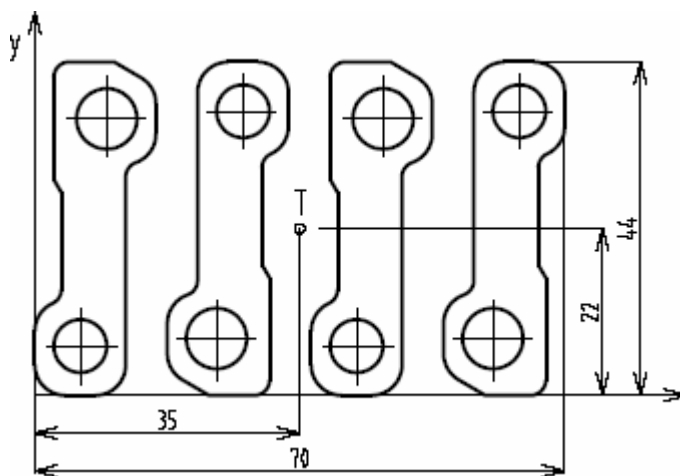
kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa  
 $I$  – moment setrvačnosti [mm<sup>4</sup>] – byl zjednodušeně určen jako obdélníkové jádro  
 $n_1$  – koeficient bezpečnosti,  $n_1 = 1,5$   
 $F_S$  – sřížná síla,  $F_S = 293810$  N – vypočítána v kapitole 4.3.4

### **4.3.9 Upevnění sřížníku**

Sřížník je upevněn v nástroji pomocí kolíků a kotevní desky spodní. Výslednice sřížných sil prochází těžištěm beranu lisu. Při nedodržení této podmínky dochází k vyvození přidavných sil, které nepříznivě působí na vedení beranu lisu a na lisovací nástroj. Tyto síly

zvyšují spotřebu hnací síly beranu. U vedení beranu může dojít až k zadření, u nástroje k rychlému otupování střížných hran.

Protože jsou výstřížky na svitku pásu vzájemně otočeny o  $180^\circ$ , lze těžiště snadno určit, viz obr. 4.1. Těžiště je:  $x_T = 35$  mm,  $y_T = 22$  mm.



Obr. 4.1 Určení těžiště

#### 4.4 NÁVRH STROJE

Součást bude vyráběna na hydraulickém lisu GKP – F 100 vybaveném třemi berany. Výrobcem lisu je firma Feintool. Tento lis je určen pro hromadnou výrobu, lze plně automatizovat. Pro plnou automatizaci je lis vybaven přídatným odvíjecím a rovnacím zařízením FTW 76. Přídatné zařízení vyrábí firma Feintool. Technické údaje odvíjecího a rovnacího zařízení jsou v příloze XVII. Prostorové uspořádání lisu je v příloze XVIII.

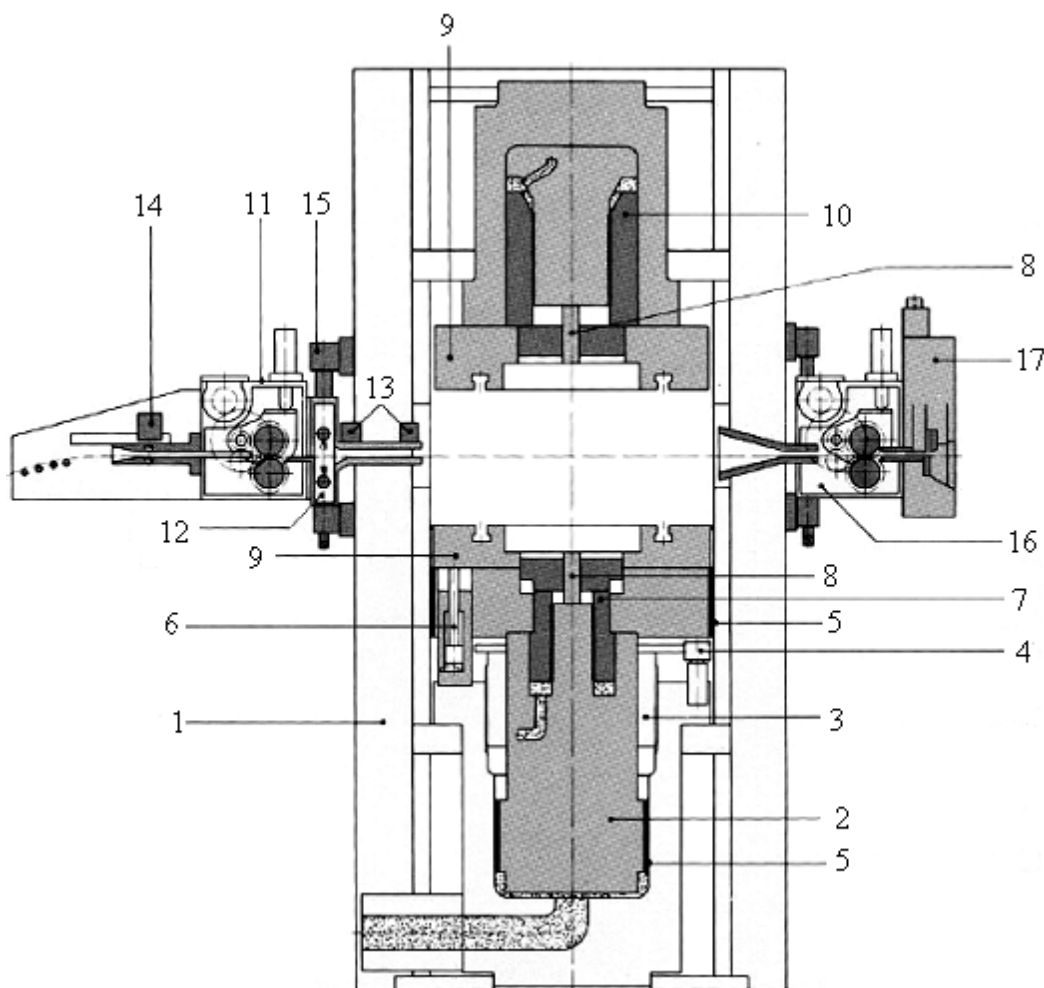
Nástroj je upnut na stole lisu pomocí šroubů, které jsou ukotveny v T-drážce ve stole lisu. Výstřížky jsou z pracovního prostoru odváděny pomocí stlačeného vzduchu. Lis je určen pro nástroje vykonávající hlavní pracovní pohyb zdola nahoru, viz. obr. 4.3.

Technické parametry lisu GKP – F 100:

– celková síla	1000 kN,
– síla na nátlavné hraně	40 – 310 kN,
– vyhazovací síla	10 – 270 kN,
– síla na dělení odpadu	66 kN,
– zdvih beranu	50 mm,
– zdvih přidržovače	8 mm,
– počet zdvihů	$20 - 80 \text{ min}^{-1}$ ,
– pracovní rychlost	$5 - 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,
– horní upínací stůl pevný	430 – 420 mm,
– dolní upínací stůl pohyblivý	430 – 420 mm,
– výška nástrojového prostoru	190 – 280 mm,
– maximální krok	999,9 mm,
– maximální šířka pásu	180 mm,
– maximální tloušťka materiálu	5 mm,
– celkový příkon	12,5 kW,
– objem tlakové nádrže	200 l,
– hmotnost	6t.



Obr. 4.2 Hydraulický lis GKP – F 100 [19]



Obr. 4.3 Konstrukční uspořádání lisu GKP – F 100 [17]

1 – nosná sloupová konstrukce lisu (rám lisu), 2 – hlavní pracovní válec, 3 – pevný doraz beranu, 4 – ovládací motor, 5 – vedení beranu, 6 – píst rychloposuvu, 7 – beran, 8 – středící čep, 9 – upínací stůl, 10 – beran, 11 – podavač pásu, 12 – vedení pásu, 13 – kalibrace pásu, 14 – kontrola pásu, 15 – zařízení pro nastavení šířky pásu, 16 – hotové výstřižky, 17 – třídič odpadu.

#### 4.5 NÁVRH STŘIŽNÉHO NÁSTROJE

Sloučený střížný nástroj je konstruován pro lis od firmy Feintool. Pro výrobu zadané součásti byl navržen nástroj s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem. Stříhání obvodu součásti i otvory v součásti jsou zhotoveny současně. Pro snížení měrného tlaku na bocích střížníku a otvoru střížnice je svitek před zasunutím do nástroje mazán olejem (Holifa Feintool öl).

Při střížném cyklu střížník smí být v otvoru střížnice pouze 0,1 mm. Při větší hodnotě dochází k enormnímu opotřebení funkčních částí.

Pro střížný nástroj byly navrženy normalizované vodící sloupky s valivým vedením dle ČSN 22 6267. Funkční části nástroje jsou vyrobeny elektroerozivním obráběním po tepelném zpracování. Sestava nástroje je nakreslena v příloze XXV, číslo výkresu DIP – 2008.1A.

##### Popis střížného nástroje

Střížný nástroj je složen z horní části a ze spodní části – střížné skříně. Obě části nástroje jsou vůči sobě vedeny dvěma vodícími sloupky. Je zde použito valivé vedení (52), kuličky  $\varnothing 4$  mm jsou v kleci uspořádány ve šroubovici. Vodící sloupky jsou zalisovány v základové desce (1) a proti vysunutí jsou zabezpečeny pomocí podložky (21) šroubu (42).

Spodní část střížného nástroje je složena ze základové desky (1), která je opatřena čtyřmi úchyty (20) sloužícími k přenášení nástroje. Do základové desky je zalisován přidržovač (2) s uložením (H7/p6). Proti vysunutí přidržovače je použito čtyř šroubů (48) a kolíky (45) zabráňují pootočení. V základové desce je suvně zalicován střížník (5), polohu střížníku zajišťují dva kolíky (44) upevněné v kotevní desce spodní (22). Střížná síla je na střížníku vyvozena pomocí podložky střížníku (8). Pohyb střížníku je řízen držákem střížníku (9), který je v základové desce suvně zalicován. K odstranění odpadu z prostoru střížníku slouží vyhazovače (14, 15), jež jsou s vůlí zabudovány ve střížníku. Ovládání vyhazovačů je zabezpečeno čtyřmi tlačnými kolíky (18) a vyrážecí lištou (13). Spodní část nástroje je připevněna k beranu lisu pomocí šroubu M 14 a stavěcím tlakovým kroužkem s vnitřním průměrem 50 mm. Síla od přidržovače je zachycena tlakovým opěrným kroužkem, jenž je připevněn na stole lisu.

V horní části nástroje je upínací deska (3), která je opatřena čtyřmi úchyty (20) sloužícími k přenášení nástroje. V upínací desce je zalisována a upevněna pomocí čtyř šroubů (41) střížnice (4). K zajištění střížnice proti pootočení slouží kolíky (45). V upínací desce je suvně zalicován vyhazovač (10), polohu vyhazovače zajišťují dva kolíky (44) upevněné ve vodící desce (7). Vyhazovač je ovládán pomocí tlačného kolíku (12). Ve vyhazovači jsou smykově uloženy dva děrovací střížníky (16, 17). V přidržovači je zabudován odlepovací kolík (26), pohyb kolíku obstarává pružina (27). Odleptávací kolík slouží k odstranění výstřížku z přidržovače. Ulpívání výstřížku je zapříčiněno přítomností maziva. Vedení a polohu pásu zajišťuje vedení pásu (30) a držák pásu (28). Správné nastavení vedení pásu a držáku pásu je docíleno čtyřmi pouzdry (29). Horní část nástroje je připevněna ke stolu lisu pomocí upínek a šroubů. Pohyb od hydraulického pístu je přiveden na vyhazovací kroužek (11). Mezi vyhazovací kroužek a hydraulický píst je vložena nátlaková deska. Síla od střížnice a děrovacích střížníků je zachycena tlakovým opěrným kroužkem, jenž je připevněn na stole lisu.

Aby nedošlo k nadměrnému zasunutí střížníku do střížnice jsou zde použity dva výškové dorazy (31).

Hotové výstřížky se z pracovního prostoru odstraňují pomocí stlačeného vzduchu, který je přiváděn do pracovního prostoru tryskami.

## 5. POČÍTAČOVÁ SIMULACE

Tato kapitola diplomové práce zahrnuje ukázkou počítačového zpracování průběhu přesného stříhání. Proces stříhání aretační páky byl při simulaci rozdělen na 30 dílčích kroků. V každém kroku lze určit průběh a parametry stříhání. Ukázka podává reálný pohled chování materiálu při nově zvolené technologii.

### 5.1 SIMULAČNÍ PROGRAM [20], [21]

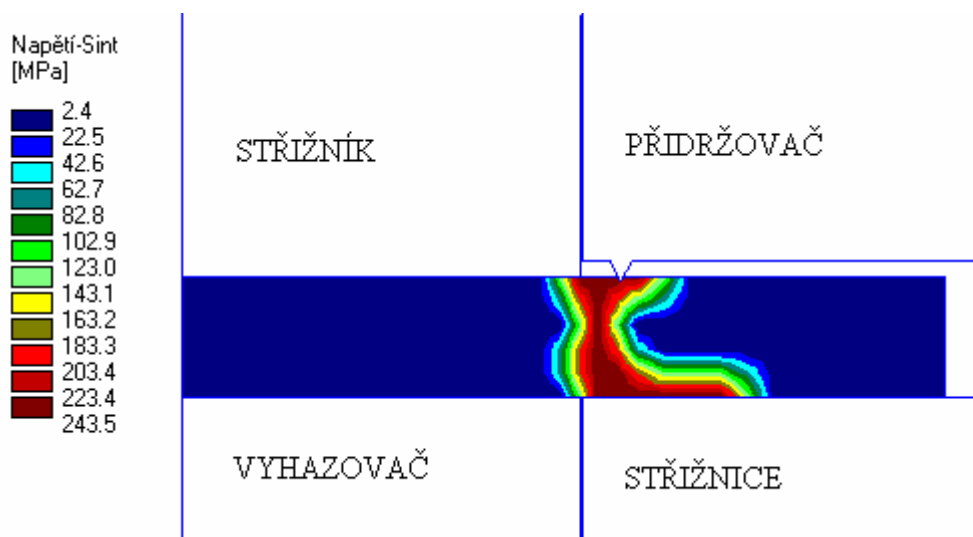
Simulace byla provedena simulačním programem FORMFEM. FORMFEM je 2D nelineární systém firmy ITA s.r.o., určený pro počítačovou simulaci tvářecích procesů. Program FORMFEM vychází z rychlostní formulace metody konečných prvků pro tuho-plastický model materiálu. Simuluje procesy tváření pro rovinná a rotačně souměrná tělesa. Obsahuje speciální nastavby pro komplexní posouzení výsledků simulace tvářecích procesů. Umožňuje zadat obecný pohyb pro více tuhých nástrojů. Zahrnuje vliv teploty na mechanické vlastnosti materiálu a vliv deformačního tepla generovaného v průběhu tvářecího procesu. Uvažuje s odvodem tepla do kovadel. Predikuje metalurgické a mechanické vlastnosti materiálu tvářeného tělesa. Obsahuje speciální modul pro načtení geometrie polotovaru a nástroje ze souborů zapsaných ve formátu DXF.

Pomocí programu lze počítat:

- deformace, přetvoření, napjatost a teploty těles podrobených velkým přetvořením v průběhu lisování, zápusťkového kování, tažení, protlačování a válcování,
- procesy objemového tváření za tepla i za studena,
- teplotní pole ve tvářeném polotovaru i v nástrojích s uvažováním přestupu tepla do nástrojů, vlivu teploty na deformační vlastnosti materiálu a na změnu rozměrů v důsledku teplotní roztažnosti,
- elastickou napjatost a deformaci nástrojů,
- síly působící na nástroj v průběhu přetvárného procesu,
- procesy tepelného zpracování.

### 5.2 VÝSTUP SIMULACE

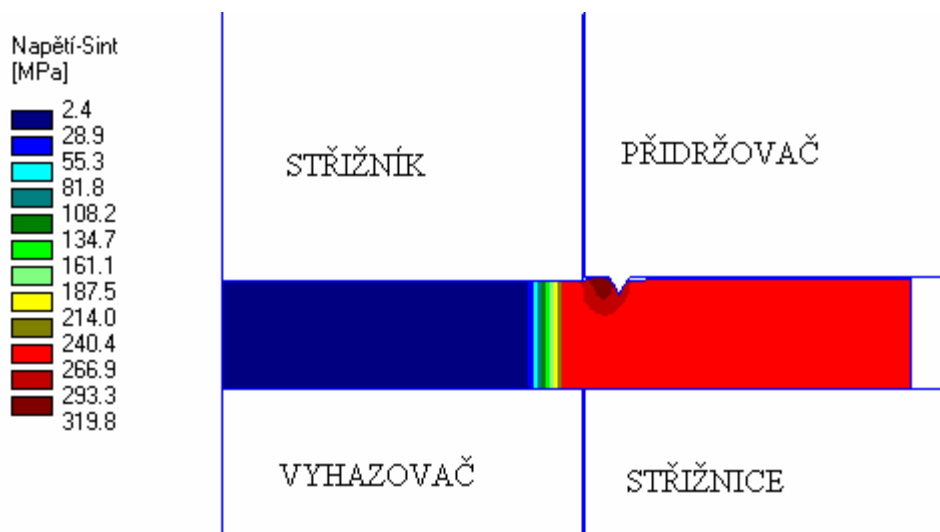
Pro velkou vypovídací schopnost a názornost bylo vybráno šest simulačních kroků, které vykreslují velikost a průběh napětí HMH ve stříhaném materiálu.



Obr. 5.1 Nátlačná hrana v počáteční fázi zatlačení do materiálu.

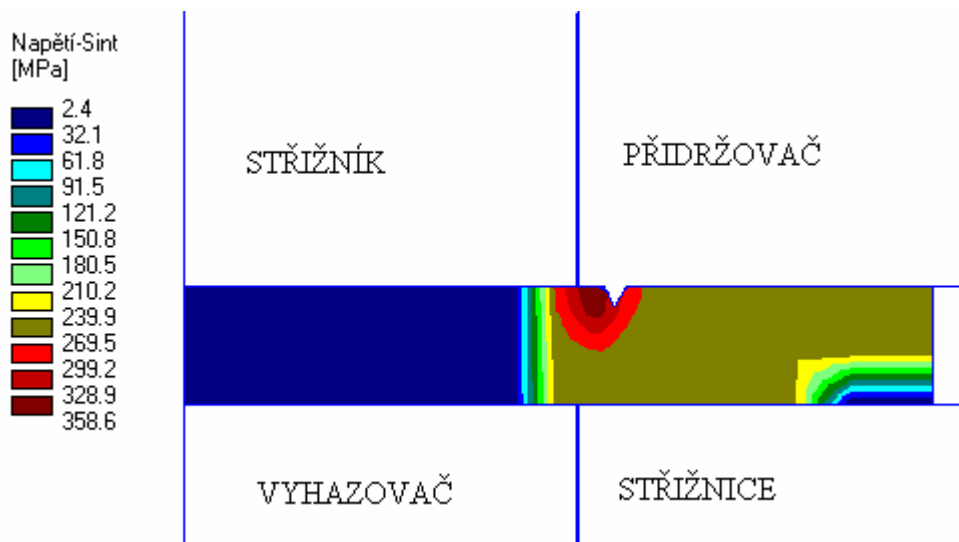


Obr. 5.1 ukazuje počáteční fázi zatlačování nátlaché hrany do materiálu. Materiál je napětově zatížen v úzké oblasti pod nátlachnou hranou. Maximální napětí v této fázi je 223,4 MPa.



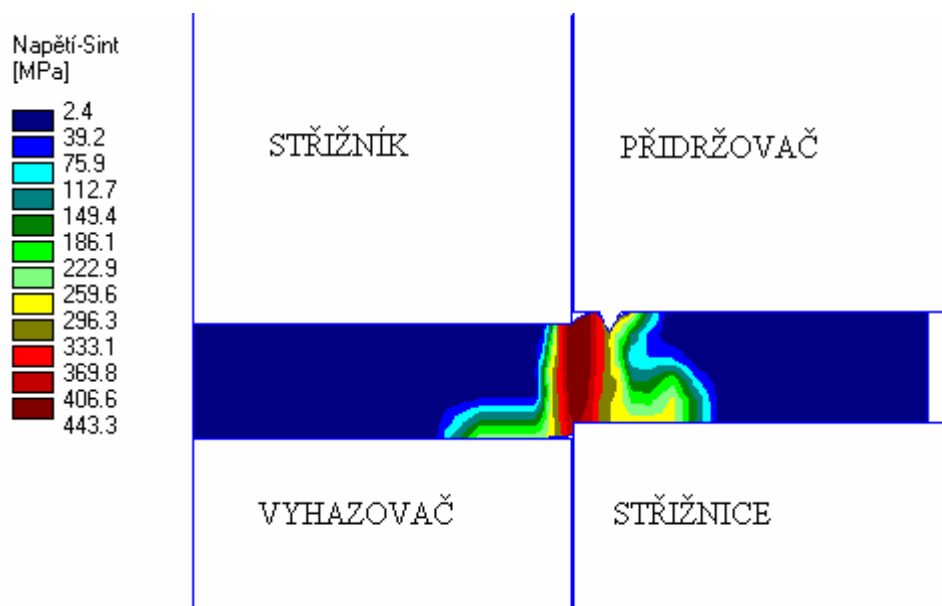
Obr. 5.2 Nátlachná hrana z části zatlačena do materiálu.

Obr.5.2 vykresluje stav, kdy je část nátlaché hrany zatlačena do materiálu. Materiál je napětově zatížen pod celou plochou přidržovače. U nátlaché hrany dochází k napěchování a vyboulení části materiálu. Maximální napětí v této fázi je 293,3 MPa.



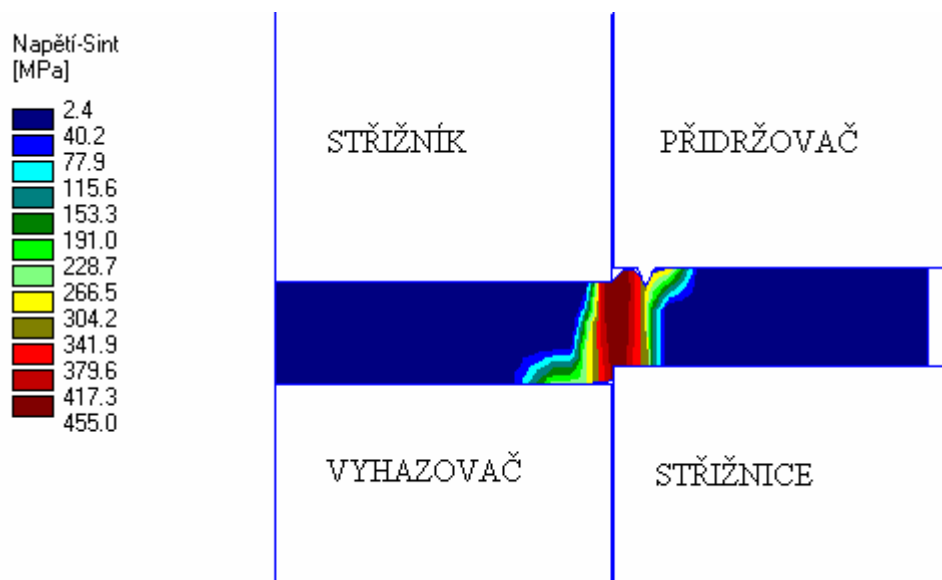
Obr. 5.3 Sevření materiálu přidržovačem

Na obr. 5.3 začíná vlastní stříhání. Nátlachná hrana je zatlačena do materiálu, který je sevřen mezi střížnicí a přidržovačem a současně mezi střížníkem a vyhazovačem. Vyhazovač klade odpor postupujícímu střížníku. Maximální napětí v této fázi je 328,9 MPa.



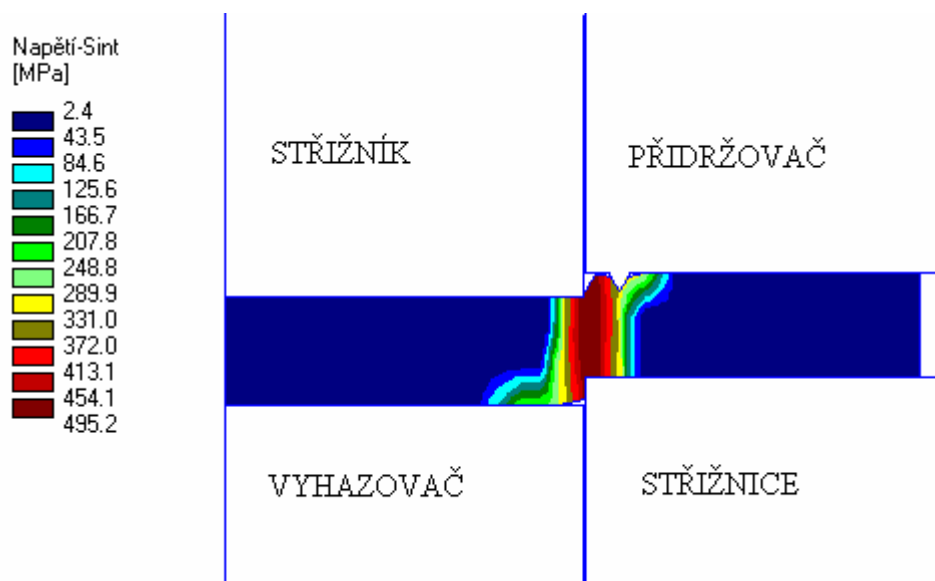
Obr. 5.4 Vlastní průběh stříhu

Obr. 5.4 znázorňuje vlastní stříh. Střížník se zatlačuje do materiálu. K zabránění prohnutí výstřížku slouží vyhazovač, který se pohybuje v závislosti na poloze střížníku. Napětí se šíří od střížných hran střížníku a střížnice, přičemž největšího napětí je dosaženo pod střížnými hranami. Maximální napětí v této fázi je 406,6 MPa.



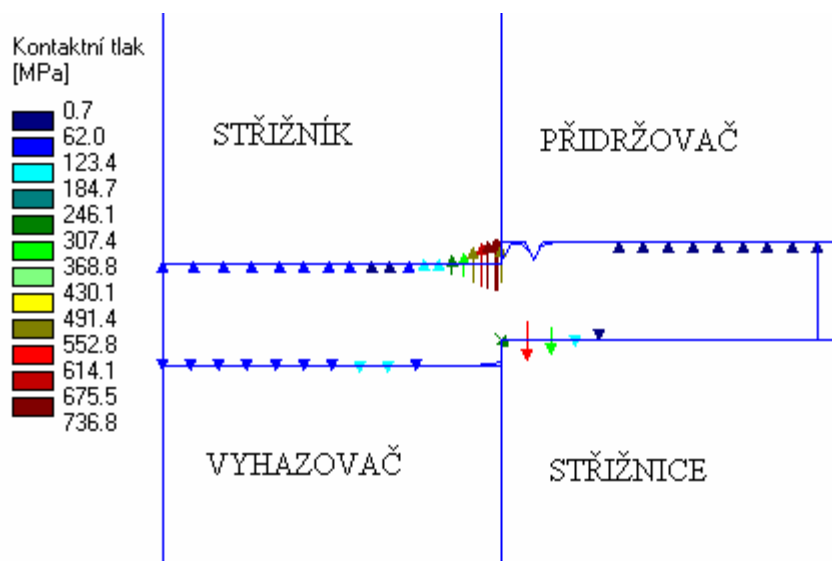
Obr. 5.5 Vlastní průběh stříhu

Obr. 5.5 ukazuje, obdobně jako obr. 5.4, vlastní stříh. V materiálu se zvětšuje napětí od střížných hran. Maximální napětí v této fázi je 417.3 MPa.



Obr. 5.6 Vlastní průběh stříhu

Obr. 5.6 ukazuje, obdobně jako obr. 5.4, vlastní stříh. V materiálu se zvětšuje napětí od střížných hran. Maximální napětí v této fázi je 454.1 MPa.



Obr. 5. 7 Průběh kontaktních tlaků

Obr. 5.7 vykresluje průběh kontaktních tlaků v průběhu stříhání. Tento obrázek potvrzuje teoretický poznatek, že největší kontaktní tlaky jsou na střížných hranách. Maximální kontaktní tlak je dosahován na střížné hraně střížníku.

V příloze XXVI je znázorněn průběh smykových napětí při stříhání. V příloze XXVII je vykreslen průběh vektoru toku materiálu při stříhání.

## 6. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

### 6.1 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

Na základě rozboru technologií přesného stříhání bude součást vyráběna přesným stříháním s nátlakovou hranou bez použití dokončovacích operací.

Technologií přesného stříhání lze zhotovit výstřižky v rozměrové přesnosti IT 6 až IT 9 v závislosti na složitosti tvaru a tloušťce materiálu. Tato přesnost technologie je plně dostačující pro zadanou součást „Aretační páka“. Z vypočítané maximální síly vyplývá, že zvolený trojčinný lis GKP – F 100 vyhovuje silovým požadavkům. Navržený stroj vyhovuje všem technologickým požadavkům kladeným na výrobu. Pro automatizovanou výrobu je třeba lis zařadit do výrobní linky, která je řízena řídicím systémem.

Součást je vyráběna z materiálu 12 041.20. Tato ocel dosahuje meze pevnosti  $R_m = 450 - 600$  MPa, tažnosti  $A_{10} = 20$  %. Ocel je vhodná pro technologii přesného stříhání. Z rozboru technologičnosti plyne, že na zadané součásti není třeba provádět zásadní změnu tvaru. Pouze všechny vnější ostré přechody nahradit  $R_{min} = 0,45$  mm a všechny vnitřní ostré přechody nahradit  $r_{min} = 0,3$  mm. Tato úprava tvaru neovlivní funkčnost součásti.

Polotovarem pro výrobu součásti je svitek plechu o šířce 53 mm a tloušťce 3 mm. Nástrojem budou vystřiženy dvě součásti na jeden zdvih lisu. Posuv svitku v nástroji je zajištěn pomocí automatického podavače. Odstranění součásti z pracovního prostoru lisu je zajištěno stlačeným vzduchem.

### 6.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola porovnává ekonomickou efektivnost zadané součásti při použití různých technologií výroby. Je porovnávána stávající technologie (viz. kapitola 3.) s nově navrhnutou technologií – přesné stříhání s nátlakovou hranou. Při výpočtu jsou do nákladů zahrnuty pouze ceny nástrojů a ceny spotřebovaného materiálu. Lis, který byl navrhnut pro inovační technologii je již ve vybavení podniku.

#### 6.2.1 Vstupní hodnoty

Pro výpočet ekonomických ukazatelů jsou potřebné tyto vstupní údaje:

$T_S$  – životnost nástroje,  $T_S = 2$  roky

$Q$  – vyráběné množství,  $Q = 600\,000$  ks/rok

#### Dílenské režie

JM – jednicové mzdy, JM = 100 %

VR – výrobní režie, VR = 437 %

SR – správní režie, SR = 112 %

OPN – ostatní přímé náklady, OPN = 21 %

#### Zpracovatelské režie

$ZR = JM + VR + SR + OPN$

$ZR = 100 + 437 + 112 + 21$

$ZR = 670$  %

(6.1)

#### Pracovní třídy na výrobu nástrojů

TKK 5 = 85 Kč/hod

TKK 6 = 91 Kč/hod

TKK 7 = 95,5 Kč /hod

**6.2.2 Náklady na materiál**

– dáno:

- materiál 12 041.20
- $C_S$  – cena za 1 kg materiálu ve svitku [Kč],  $C_S = 32,84$  Kč
- $C_T$  – cena za 1 kg materiálu v tabuli [Kč],  $C_T = 27,93$  Kč
- $C_O$  – cena za 1 kg odpadu [Kč],  $C_O = 4,5$  Kč

**Stávající technologie**Výpočet hmotnosti plechu spotřebovaného za rok

$$m_{p1} = \rho \cdot S_T \cdot t \cdot Q$$

$$m_{p1} = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 812,5 \cdot 3 \cdot 600000 = \underline{\underline{11480,63 \text{ kg}}} \quad (6.2)$$

kde:  $\rho$  – hustota oceli [ $\text{kg/mm}^3$ ],  $\rho = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$   
 $S_T$  – plocha pruhu pro výrobu jedné součásti [ $\text{mm}^2$ ],  $S_T = 50 \cdot 16,25 = 812,5 \text{ mm}^2$   
 $t$  – tloušťka součásti [mm],  $t = 3 \text{ mm}$   
 $Q$  – počet vyráběných kusů za rok [ks/rok],  $Q = 600\,000 \text{ ks/rok}$   
 $m_{p1}$  – hmotnost plechu spotřebovaného za rok [kg]

Výpočet ceny plechu spotřebovaného za rok– materiál je dodáván v tabulích o rozměrech  $3 \times 1000 \times 2000$  [mm]

$$C_{p1} = m_{p1} \cdot \text{cena za 1 kg plechu} = 11480,63 \cdot 27,93 = \underline{\underline{320654 \text{ Kč}}} \quad (6.3)$$

kde:  $C_{p1}$  – cena plechu spotřebovaného za rok [Kč]Výpočet hmotnosti odpadu vyprodukovaného za rok

$$m_{p2} = (S_T - S_S) \cdot \rho \cdot t \cdot Q$$

$$m_{p2} = (812,5 - 375,97) \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 600000 = \underline{\underline{6168,17 \text{ kg}}} \quad (6.4)$$

kde:  $S_S$  – plocha součásti [ $\text{mm}^2$ ],  $S_S = 375,97 \text{ mm}^2$   
 $m_{p2}$  – hmotnost odpadu vyprodukovaného za rok [kg]

Výpočet ceny odpadu za jeden rok

$$C_{OD1} = m_{p2} \cdot \text{cena za 1 kg odpadu} = 6168,17 \cdot 4,5 = \underline{\underline{27756,77 \text{ Kč}}} \quad (6.5)$$

kde:  $C_{OD1}$  – cena odpadu za rok [Kč]Výpočet nákladů na materiál za rok

$$N_{m1} = C_{p1} - C_{OD1} = 320654 - 27756,77 = \underline{\underline{292897,23 \text{ Kč}}} \quad (6.6)$$

kde:  $N_{m1}$  – náklad na materiál za rok [Kč]

**Nově navržená technologie**Výpočet hmotnosti plechu spotřebovaného za rok

$$m_{p3} = \rho \cdot S_{SV} \cdot t \cdot Q$$

$$m_{p3} = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 967,25 \cdot 3 \cdot 600000 = \underline{\underline{13667,24 \text{ kg}}} \quad (6.7)$$

kde:  $\rho$  – hustota oceli [ $\text{kg/mm}^3$ ],  $\rho = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$   
 $S_{SV}$  – plocha pásu pro výrobu jedné součásti [ $\text{mm}^2$ ],  $S_T = 53 \cdot 18,25 = 967,25 \text{ mm}^2$   
 $t$  – tloušťka součásti [mm],  $t = 3 \text{ mm}$   
 $Q$  – počet vyráběných kusů za rok [ks/rok],  $Q = 600\,000 \text{ ks/rok}$   
 $m_{p3}$  – hmotnost plechu spotřebovaného za rok [kg]

Výpočet ceny plechu spotřebovaného za rok

– materiál je dodáván ve svitku o šířce 53 mm

$$C_{p2} = m_{p3} \cdot \text{cena za 1 kg plechu} = 13667,24 \cdot 32,84 = \underline{\underline{448832,16 \text{ Kč}}} \quad (6.8)$$

kde:  $C_{p2}$  – cena plechu spotřebovaného za rok [Kč]

Výpočet hmotnosti odpadu vyprodukovaného za rok

$$m_{p4} = (S_{SV} - S_S) \cdot \rho \cdot t \cdot Q$$

$$m_{p4} = (967,25 - 375,97) \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 600000 = \underline{\underline{8354,79 \text{ kg}}} \quad (6.9)$$

kde:  $S_S$  – plocha součásti [ $\text{mm}^2$ ],  $S_S = 375,97 \text{ mm}^2$   
 $m_{p4}$  – hmotnost odpadu vyprodukovaného za rok [kg]

Výpočet ceny odpadu za jeden rok

$$C_{OD2} = m_{p4} \cdot \text{cena za 1 kg odpadu} = 8354,79 \cdot 4,5 = \underline{\underline{37596,64 \text{ Kč}}} \quad (6.10)$$

kde:  $C_{OD2}$  – cena odpadu za rok [Kč]

Výpočet nákladů na materiál za rok

$$N_{m2} = C_{p2} - C_{OD2} = 448832,16 - 37596,64 = \underline{\underline{411235,52 \text{ Kč}}} \quad (6.11)$$

kde:  $N_{m2}$  – náklad na materiál [Kč]

**Rozdíl nákladů na materiál stávající a nové technologie za rok**

$$\Delta N_m = N_{m1} - N_{m2} = 292897,23 - 411235,52 = \underline{\underline{118338,29 \text{ Kč}}} \quad (6.12)$$

kde:  $N_{m1}$  – náklad na materiál při stávající technologii za rok [Kč]  
 $N_{m2}$  – náklad na materiál při nové technologii za rok [Kč]  
 $\Delta N_m$  – rozdíl nákladů na materiál stávající a nové technologie za rok [Kč]

Náklady na materiál jsou pro nově navrženou technologii výroby o 118339 Kč vyšší než náklady u stávající technologie.

### 6.2.3 Náklady na nástroj

#### Stávající technologie

##### Jednicové mzdy

1. operace: stříhání pruhů 140 Nh, TTK 6

$$JM_1 = Nh \cdot TTK\ 6 = 140 \cdot 91 = 12740\ \text{Kč} \quad (6.13)$$

kde:  $JM_1$  – dílčí jednicová mzda [Kč]  
Nh – počet normohodin [h]  
TKK – pracovní třída [Kč/h]  
JM – celková jednicová mzda [Kč]

2. operace: postupové stříhadlo 400 Nh, TTK 7

$$JM_2 = Nh \cdot TTK\ 7 = 400 \cdot 95,5 = 38200\ \text{Kč} \quad (6.14)$$

3. operace: vystružovací přípravek 120Nh, TTK 5

$$JM_3 = Nh \cdot TTK\ 5 = 120 \cdot 85 = 10200\ \text{Kč} \quad (6.15)$$

$$JM = JM_1 + JM_2 + JM_3 = 12740 + 38200 + 10200 = 61140\ \text{Kč} \quad (6.16)$$

##### Zpracovatelské náklady

$$ZN = JM \cdot ZR = 61140 \cdot 670\ \% = 409638\ \text{Kč} \quad (6.17)$$

kde: ZR – zpracovatelské režie [%]  
ZN – zpracovatelské náklady [Kč]

##### Zisk

– pro strojírenský podnik činí zisk 15 % zpracovatelských nákladů

$$Z = 15\ \% \cdot ZN = 15\ \% \cdot 409638 = 61445,7\ \text{Kč} \quad (6.18)$$

kde: Z – zisk [Kč]

##### Cena materiálu na nástroje a přípravky

– tato cena vyplývá z výrobní dokumentace stávající technologie a je rovna 9351 Kč

##### Cena nástrojů a přípravků

$$N_A = ZN + Z + \text{cena materiálu na nástroje a přípravky} \quad (6.19)$$

$$N_A = 409638 + 61445,7 + 9351 = 480434,7\ \text{Kč}$$

kde:  $N_A$  – cena nástrojů a přípravků [Kč]

#### Nová technologie

##### Jednicové mzdy

1. operace: stříhadlo 750 Nh, TTK 7

$$JM_4 = Nh \cdot TTK\ 7 = 750 \cdot 95,5 = 71625\ \text{Kč} \quad (6.20)$$

kde:  $JM_4$  – dílčí jednicová mzda [Kč]  
 $N_h$  – počet normohodin [h]  
 $TKK$  – pracovní třída [Kč/h]  
 $JM$  – celková jednicová mzda [Kč]

$$JM = JM_1 = 71625 = 71625 \text{ Kč} \quad (6.21)$$

#### Zpracovatelské náklady

$$ZN = JM \cdot ZR = 71625 \cdot 670 \% = 479887,5 \text{ Kč} \quad (6.22)$$

kde:  $ZR$  – zpracovatelské režie [%]  
 $ZN$  – zpracovatelské náklady [Kč]

#### Zisk

– pro strojírenský podnik činí zisk 15 % zpracovatelských nákladů

$$Z = 15 \% \cdot ZN = 15 \% \cdot 479887,5 = 71983,1 \text{ Kč} \quad (6.23)$$

kde:  $Z$  – zisk [Kč]

#### Cena materiálu na nástroje a přípravky

– tato cena vyplývá z ceny materiálu na nástroj a ceny nakupovaných dílů použitých na výrobu nástroje. Dle tab.6.1 je cena materiálu a nakupovaných dílů rovna 12357,6 Kč.

Tab. 6.1 Cena materiálu a nakupovaných dílů na nástroj

Materiál	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Dílčí cena nástroje [Kč]
třída 11	118,95	25	2973,8
třída 14	2,71	28,5	77,2
třída 19	26,4	191,5	5055,6
nakupované dílce			4251
celkem			12357,6

#### Cena nástroje

$$N_B = ZN + Z + \text{cena materiálu na nástroje a přípravky} \quad (6.24)$$

$$N_B = 479887,5 + 71983,1 + 12357,6 = \underline{564228,2 \text{ Kč}}$$

kde:  $N_B$  – cena nástroje [Kč]

#### **Rozdíl cen nástrojů stávající a nové technologie**

$$\Delta N = N_B - N_A = 564228,2 - 480434,7 = \underline{83793,5 \text{ Kč}} \quad (6.25)$$

kde:  $N_A$  – cena nástrojů a přípravků u stávající technologie [Kč]  
 $N_B$  – cena nástroje pro novou technologii [Kč]  
 $\Delta N$  – rozdíl cen nástrojů stávající a nové technologie [Kč]

Cena nástroje u nově navržené technologie je o 83794 Kč vyšší než cena nástroje u stávající technologie.



#### 6.2.4 Náklady na přímé mzdy a kritické množství kusů

U stávající technologie jsou přímé mzdy

$$M_A = 0,1204 \text{ Kč/ks}$$

U nové technologie jsou přímé mzdy

$$M_B = 0,0205 \text{ Kč/ks}$$

Hodnoty  $M_A$ ,  $M_B$  jsou vypočítány na základě výrobních časů jednotlivých operací a pracovních tříd, viz. kapitola 3.2 a 4.1.

##### Kritické množství kusů

$$Q_{KR} = \frac{N_B - N_A}{(M_A - M_B) \cdot (VR + SR)} = \frac{564228,2 - 480434,7}{(0,1204 - 0,0205) \cdot (4,37 + 1,12)} = \underline{\underline{152782,1 \text{ ks}}} \quad (6.26)$$

Při výrobě nad 152783 kusů se nově navržená technologie stává ekonomicky výhodnější než technologie stávající.

#### 6.2.5 Celkové roční náklady na mzdy a režii

##### Stávající technologie

$$N_{mrA} = M_A \cdot Q \cdot (VR + SR) = 0,1204 \cdot 600000 \cdot (4,37 + 1,12) = \underline{\underline{396597,6 \text{ Kč}}} \quad (6.27)$$

##### Nová technologie

$$N_{mrB} = M_B \cdot Q \cdot (VR + SR) = 0,0205 \cdot 600000 \cdot (4,37 + 1,12) = \underline{\underline{67527 \text{ Kč}}} \quad (6.28)$$

##### Roční úspora na mzdách a režii

$$U_R = N_{mrA} - N_{mrB} = 396597,6 - 67527 = 329070,6 \text{ Kč} \quad (6.29)$$

#### 6.2.6 Ukazatelé efektivnosti

##### Doba úhrady nového nástroje

$$T_U = \frac{N_B}{U_R} = \frac{564228,2}{329070,6} = \underline{\underline{1,715 \text{ roku}}} \quad (6.30)$$

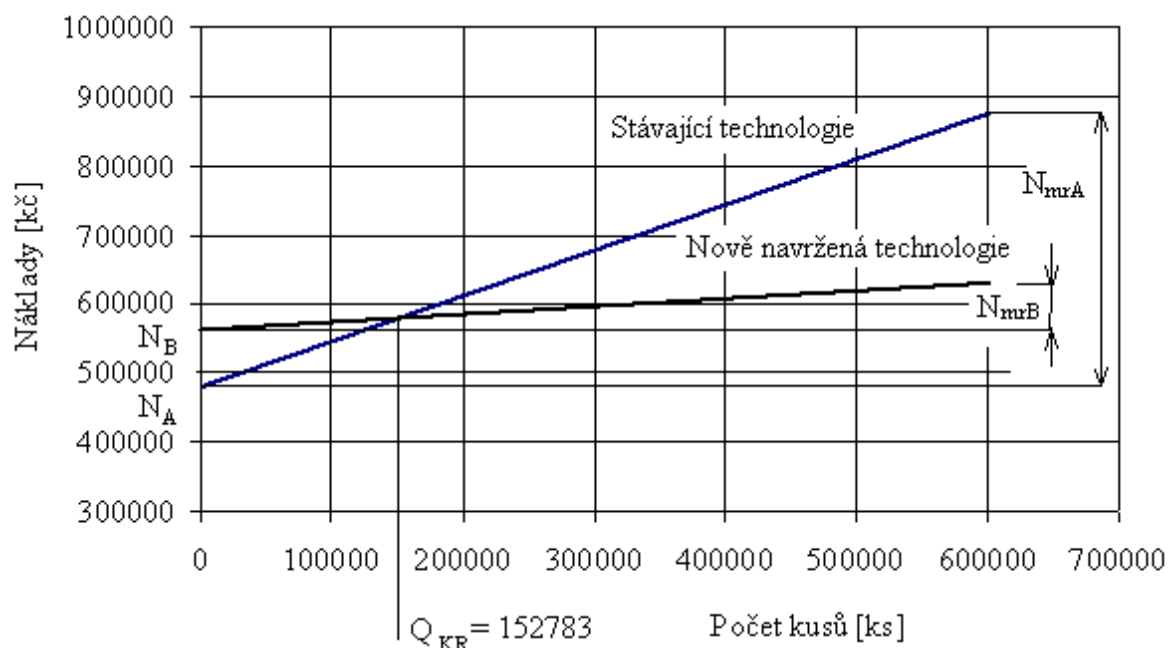
##### Celková úspora vztahená na životnost nástroje

$$U = (U_R \cdot T_S) - (\Delta N + T_S \cdot \Delta N_m) \quad (6.31)$$

$$U = (329070,6 \cdot 2) - (83793,5 + 2 \cdot 118338,29) = \underline{\underline{337671,12 \text{ Kč}}}$$

##### Úspora za jeden rok výroby

$$U_1 = (U_R \cdot 1) - (\Delta N + \Delta N_m) = (329070,6 \cdot 1) - (83793,5 + 118338,29) = \underline{\underline{126938,81 \text{ Kč}}} \quad (6.32)$$



Obr. 6. 1 Schématické vyjádření závislosti nákladů na počtu kusů s vyznačeným kritickým množstvím kusů

### 6.2.7 Zhodnocení

Dle provedeného ekonomického hodnocení bylo zjištěno, že roční náklady na materiál, pro výrobu 600 000 ks/rok zadaných součástí, jsou u stávající technologie výroby o 118 339 Kč nižší než u nově navržené technologie. Tento nárůst nákladů je způsoben širšími můstky a větší velikostí postranních odpadů, které jsou nutné u technologie přesného stříhání pro správnou funkci nátláčné hrany.

Výrobní náklady na nový nástroj jsou o 83 794 Kč vyšší. Zvýšení nákladů je způsobeno větší spotřebou drahé nástrojové oceli a náročnější výrobou nástroje. Po překročení kritického množství kusů (152 783 ks) vyrobených novým nástrojem se nově navržená technologie stává ekonomicky výhodnější oproti stávající technologii. Při výrobní sérii 600 000 ks/rok nově navrženou technologií jsou celkové náklady vztažené na jeden výstřížek několikanásobně nižší.

Zavedením technologie přesného stříhání dojde ke snížení výrobního času z 5,34 s na pouhé 1,62 s a přímé náklady na mzdy klesnou z 0,1204 Kč/ks na 0,0205 Kč/ks. Důležitým faktorem poukazujícím na vhodnost nové technologie je snížení výrobních operací, tím i počet strojů, nástrojů, manipulačních prostředků dělníků a množství energie. Celková úspora za jeden rok výroby je 126 938 Kč.

Na základě výše uvedeného lze bezpečně konstatovat, že zavedení inovační technologie je ekonomicky výhodné a výběr technologie přesného stříhání s nátláčnou hranou byl proveden správně.

## 7. ZÁVĚR

Předkládaný diplomový projekt řeší komplexně výrobu součásti „Aretační páka“ technologií přesného stříhání s nátlacnou hranou. Součást slouží k regulaci paliva u vstřikovacího čerpadla a je vyráběna z materiálu 12 041.20. Výsledky práce jsou podkladem pro inovaci výroby součásti.

Aretační páka je v současné době vyráběna v postupovém nástroji s následným obráběním v požadovaném množství 500 000 ks/rok. Stávající technologie výroby je ekonomicky a časově náročná, dále dochází ke zvětšení objemu výroby na 600 000 ks/rok. Z těchto důvodů je nezbytné navrhnout novou technologii výroby.

Úvodní část diplomové práce je věnována literární studii, která detailně řeší problematiku přesného stříhání a dává teoretický podklad pro návrh nové technologie – přesné stříhání s nátlacnou hranou.

Kapitola 3. hodnotí současný stav výroby zadané součásti. Rozbor stávající technologie ukazuje na řadu neekonomických faktorů, mezi něž patří: časová náročnost výroby, zvýšení počtu zmetkovitosti, ekonomická náročnost na strojní a nářadovou vybavenost. Stávající technologie je vhodná pouze pro malé výrobní série.

Kapitola 4. řeší vlastní návrh inovační technologie. Technologie přesného stříhání s nátlacnou hranou byla zvolena na základě porovnání všech technologií přesného stříhání (stříhání se zaoblenou střižnou hranou, stříhání se zkoseným přidržovačem, přistříhování, kalibrování, přesné stříhání s nátlacnou hranou). Hodnotícím kritériem byla dosahovaná přesnost a produktivita dané technologie, vhodnost technologie pro hromadnou výrobu. Dále je v této kapitole proveden výpočet: využití materiálu (48,03 %), střižné vůle (0,014 mm), střižné síly (587,62 kN), vyhazovací síly (52,64 kN), přidržovací síly (262,74 kN), celkové síly (903 kN), celkové práce (1100,9 J), pevnostní a kontrolní výpočty nástroje, výběr lisu GKP – F 100 a návrh nástroje,.

Do řešení diplomové práce je zařazena ukázka počítačové simulace procesu stříhání pomocí softwaru FORMFEM. Simulace ukazuje napětovo – deformační chování materiálu v oblasti nátlacné hrany a chování materiálu při vlastním stříhu.

V závěrečné kapitole je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení. Jsou zde vyčísleny a porovnány náklady stávající a nově navržené technologie. Výsledek jednoznačně potvrzuje správnost volby nového způsobu výroby. Při použití nově navržené technologie se uspoří za jeden rok 126 938 Kč.

Přílohy obsahují pomocné tabulky a grafy, čtyři varianty nástřihových plánů, výkresovou dokumentaci a výstupy ze simulačního programu. Výkresová dokumentace obsahuje výkres sestavy nástroje, kusovník a výrobní výkresy funkčních částí nástroje (střižnice, střižníku, přidržovače a vyhazovače).

Přínos diplomového projektu spočívá zejména v tom, že komplexně popisuje technologii přesného stříhání. Dalším kladem této práce je, že zavedení nové technologie přináší celkové zjednodušení výroby, časovou a finanční úsporu za současného dosažení vysoké tvarové i rozměrové přesnosti.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] GUIDI, A. *Přistřihování a přesné stříhání*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1969. 140 s.
  - [2] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 216 s.
  - [3] PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II* [online]. Ostrava : 2001 [cit. 2008-02-07]. Dostupný z WWW: <[http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod\\_TV2.pdf](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf)>.
  - [4] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno : CERM, s.r.o., 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
  - [5] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření plošné a objemové*. Brno: CERM,s.r.o., 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
  - [6] JAN, Leinveber, JAROSLAV, Řasa, PAVEL , Vávra. *Strojnické tabulky*. Praha : Scienta, spol.s r.o., 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
  - [7] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
  - [8] GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. [2003] [cit. 2008-02-07]. Dostupný z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_vyroby\\_I\\_tvareni\\_gajdos.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf)>.
  - [9] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0411-9.
  - [10] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s., 10 příloh.
  - [11] *About the fineblanking process and Partech fineblanking* [online]. 2000 [cit. 2008-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.partechfineblanking.com/fineblanking.htm>>.
  - [12] KOČMAN, Karel, et al. *Aktuální příručka pro technický úsek Svazek 8*. Praha : Dashöfer, 2001. 150 s. ISBN 80-902247-2-5.
  - [13] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství ČVUT , 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
  - [14] *Strojírenská příručka 24 dílů v osmi svazcích. 8. svazek : Tváření. W. Výrobky ze slinovaných prášků. X. Výrobky z plastů. Y. Svařování součástí. Z. Protikorozi ochrana materiálu* . Pavel Vávra. 1. vyd. Praha : Scientia spol. s r.o, 1998. 225 s. ISBN 80-7183-054-2.
  - [15] *Fineblanking* [online]. [2000] [cit. 2008-02-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.fineblanking.org/overview/history.html>>.
-

- [16] *Schmid* [online]. [1998] [cit. 2008-02-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.schmidpress.ch/index.php?id=62&L=1>>.
  - [17] *Feinschneideanlagen*. FEINTOOL. Switzerland. 1999.
  - [18] VYSKOČIL, Oldřich, Ing. BARTOŠ, Pavel. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání*. Brno : Zbrojovka Brno n. p, 1977. 88 s.
  - [19] *Anc components* [online]. 2007 [cit. 2008-04-26]. Dostupný z WWW: <[http://www.anccomponents.cz/index\\_en.php?adresa=technologie](http://www.anccomponents.cz/index_en.php?adresa=technologie)>.
  - [20] *Objemové tváření - ITA* [online]. c2007 [cit. 2008-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.ita-tech.cz/cs/produkty-a-sluzby/pocitacove-simulace-mkp/objemove-tvareni>>.
  - [21] *Výpočtové metody ve tváření* [online]. [1997] [cit. 2008-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jirihruby/Texty/AplikaceMKP.pdf>>.
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$A_c$	Celková práce	[J]
$A_{c2}$	Celková práce potřebná pro dva výstřižky	[J]
$A_e$	Rozměr střížnice	[mm]
$A_j$	Jmenovitý rozměr výstřižku	[mm]
$A_k$	Rozměr střížníku	[mm]
$A_p$	Práce přidržovače	[J]
$A_s$	Střížná práce	[J]
$A_v$	Práce vyhazovače	[J]
$A_{10}$	Tažnost	[%]
$a$	Vzdálenost nátlčné hrany od obrysu stříhu	[mm]
$B$	Šířka svitku	[mm]
$b_1$	Velikost postranního odpadu	[mm]
$b_2$	Velikost můstku	[mm]
$C_o$	Cena za 1 kg odpadu	[Kč]
$C_{OD1,2}$	Cena odpadu za rok	[Kč]
$C_{p1,2}$	Cena plechu spotřebovaného za rok	[Kč]
$C_s$	Cena za 1 kg materiálu ve svitku	[Kč]
$C_T$	Cena za 1 kg materiálu v tabuli	[Kč]
$c$	Délka střížníku	[mm]
$d$	Průměr děrovacího střížníku	[mm]
$d_B$	Vnitřní průměr svitku	[m]
$d_{min}$	Minimální průměr otvoru	[MPa]
$D_B$	Vnější průměr svitku	[m]
$E$	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$e$	Hloubka vniknutí střížné hrany	[mm]
$f$	Minimální tloušťka střížnice	[mm]
$F_c$	Celková střížná síla	[N]
$F_{c2}$	Celková střížná síla potřebná na dva výstřižky	[N]
$F_p$	Síla přidržovače	[N]
$F_s$	Střížná síla	[N]
$F_v$	Síla vyhazovače	[N]
$h$	Výška nátlčné hrany	[mm]
$\Delta h$	Tloušťka stříhaného materiálu zmenšená o stažení hrany	[mm]
$I$	Moment setrvačnosti	[mm <sup>4</sup> ]
$J$	Faktor kvality střížné plochy	[-]
$JM$	Jednicová mzda	[Kč]
$JM_{1,2,3,4}$	Dílčí jednicová mzda	[Kč]
$K$	Krok	[mm]
$k_m$	Součinitel využití materiálu	[-]
$L$	Délka nátlčné hrany	[mm]
$l$	Délka křivky stříhu	[mm]
$l_{krit}$	Kritická délka střížníku	[mm]
$l_p$	Délka pásu	[mm]
$M_{A,B}$	Přímé mzdy	[Kč/ks]
$m_{p1,3}$	Hmotnost plechu spotřebovaného za rok	[kg]
$m_{p2,4}$	Hmotnost odpadu vyprodukovaného za rok	[kg]

Nh	Počet normohodin	[h]
Označení	Legenda	Jednotka
$N_{A,B}$	Cena nástroje a přípravků	[Kč]
$N_{mrA,B}$	Celkové roční náklady na mzdy a režii	[Kč]
$n$	Opravný součinitel	[–]
$n_v$	Počet výstřížků ze svitku	[ks]
$n_l$	Koeficient bezpečnosti	[–]
OPN	Ostatní přímé náklady	[Kč]
$o$	Odpad při zavádění svitku	[mm]
$p$	Měrný tlak	[MPa]
$P_S$	Počet svitků zpracovaných za rok	[ks]
$Q$	Vyráběné množství kusů	[ks/rok]
$Q_{KR}$	Kritické množství kusů	[ks]
$R$	Poloměr	[mm]
$R_a$	Drsnost povrchu	[ $\mu\text{m}$ ]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_{\min}$	Minimální vnější poloměr	[mm]
$r_{\min}$	Minimální vnitřní poloměr	[mm <sup>2</sup> ]
$S$	Střížná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_O$	Plocha otvorů součásti	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Plocha svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{PR}$	Průmět plochy přidržovače	[mm <sup>2</sup> ]
SR	Správné režie	[Kč]
$S_S$	Plocha součásti	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{ST}$	Plocha střížníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{SV}$	Plocha svitku potřebná na jednu součást	[mm <sup>2</sup> ]
$S_T$	Plocha pruhu potřebná na jednu součást	[mm <sup>2</sup> ]
$T$	Tolerance	[mm]
TKK	Pracovní třída	[Kč/hod]
$T_S$	Životnost nástroje	[rok]
$T_U$	Doba úhrady nového nástroje	[rok]
$t$	Tloušťka součásti	[mm]
$U$	Celková úspora vztážená na životnost nástroje	[Kč]
$U_R$	Roční úspora	[Kč]
$U_1$	Úspora za jeden rok	[Kč]
VR	Výrobní režie	[Kč]
$v$	Střížná vůle	[mm]
$Z$	Zisk	[Kč]
$Z_N$	Zpracovatelské náklady	[Kč]
$z$	Střížná mezera	[mm]
$W_1$	Minimální vzdálenost mezi otvory	[mm]
$W_2$	Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou	[mm]
ZR	Zpracovatelská režie	[Kč]
$\Delta N$	Rozdíl cen nástrojů stávající a nové technologie	[Kč]
$\Delta N_m$	Rozdíl nákladů na materiál stávající a nové technologie	[Kč]
$\lambda$	Koeficient zaplnění plochy pod křivkou	[–]
$\rho$	Hustota oceli	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_{Dov}$	Dovolené napětí	[MPa]

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Hlavní napětí	[MPa]
$\sigma_{3C}$	Celkové hlavní napětí	[MPa]
$\Delta\sigma_3$	Přídavné napětí od tlačné hrany	[MPa]
$\tau$	Smykové napětí	[MPa]
$\tau_{\max}$	Maximální smykové napětí	[MPa]
$\tau_s$	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]



**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha I	Ukázka dílců vyráběných pomocí technologií přesného stříhání.
Příloha II	Určení velikosti postranního odpadu a šířky můstku.
Příloha III	Určení velikosti vnitřního a vnějšího radiusu u vystřihované součásti.
Příloha IV	Určení velikosti minimálního průměru a minimální šířky drážky.
Příloha V	Určení velikosti minimálního modulu ozubení.
Příloha VI	Porovnání technologie přesného stříhání s ostatními technologiemi.
Příloha VII	Přehled materiálů vhodných pro přesné stříhání.
Příloha VIII	Nástřihový plán I
Příloha IX	Nástřihový plán II
Příloha X	Nástřihový plán III
Příloha XI	Nástřihový plán IV
Příloha XII	Vyráběná součást DIP – 2008.1E1
Příloha XIII	Schéma linky
Příloha XIV	Výpočet plochy zadané součásti.
Příloha XV	Výpočet délky křivky stříhu.
Příloha XVI	Výpočet délky nátláčné hrany.
Příloha XVII	Technické údaje odvíjecího zařízení.
Příloha XVIII	Prostorové uspořádání lisu GKP – F 100
Příloha XIX	Kusovník DIP – 2008.1E6
Příloha XXI	Výrobní výkres střížnice. DIP – 2008.1C3
Příloha XXII	Výrobní výkres střížníku. DIP – 2008.1D4
Příloha XXIII	Výrobní výkres přidržovače. DIP – 2008.1C2

---

Příloha XXIV	Výrobní výkres vyhazovače. DIP – 2008.1D5
Příloha XXV	Sestava nástroje DIP – 2008.1A
Příloha XXVI	Průběh smykových napětí
Příloha XXVII	Průběh vektoru toku materiálu

---

## Příloha I Ukázka dílců vyráběných pomocí technologií přesného stříhání [11]

The following example show some of the most important fields of application.



Vehicles



Textile Machines



Office Machines



Entertainment Electronics



Telecommunication Systems



Electrical Equipments



Optical Instruments



Sewing Machines



Locks and Keys



Measuring Instruments



Airplanes



Weapons



Agricultural Machineries

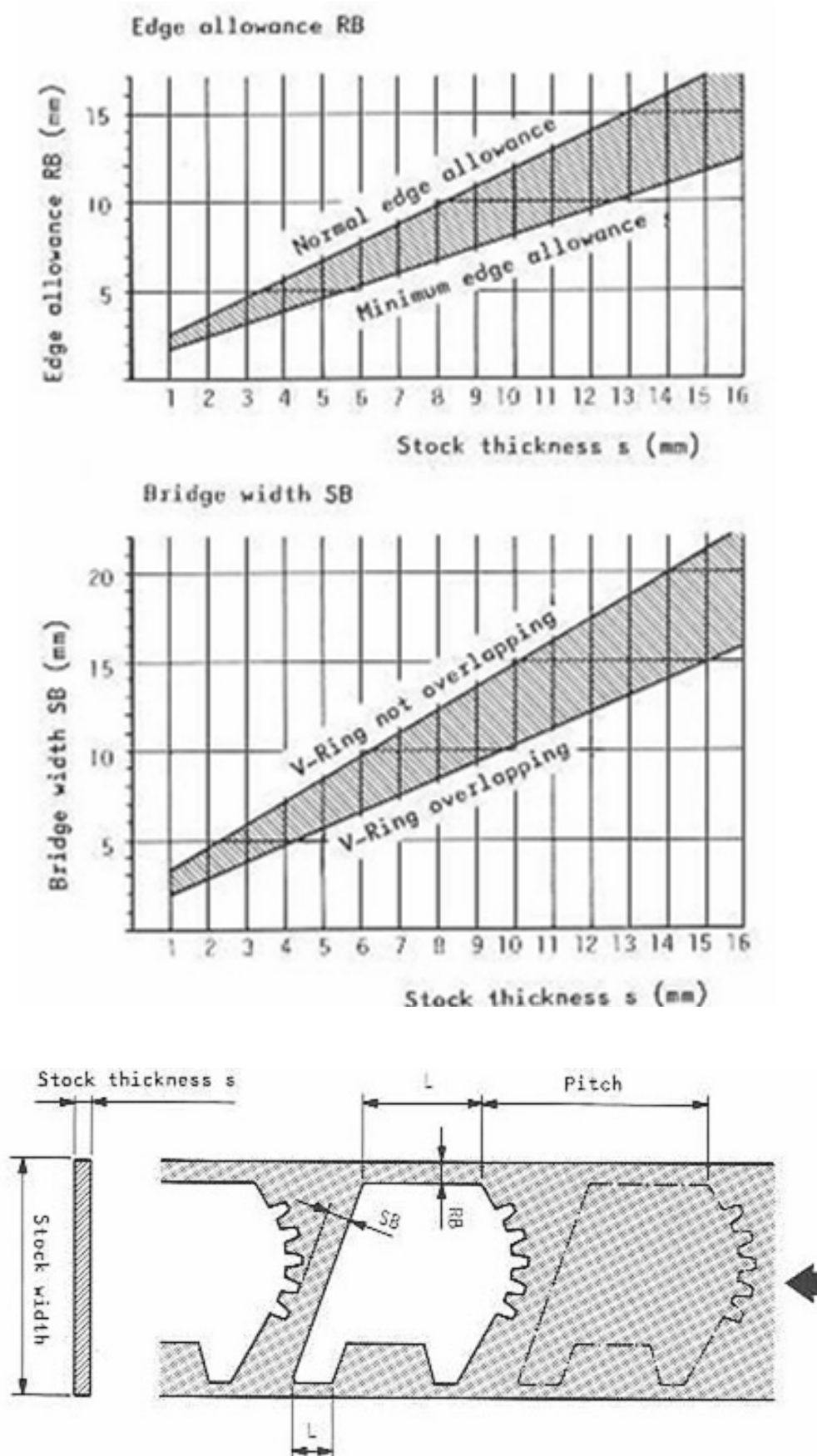


General Machines



Household Appliances

## Příloha II Určení velikosti postranního odpadu a šířky můstku [11]



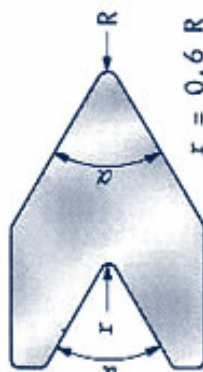
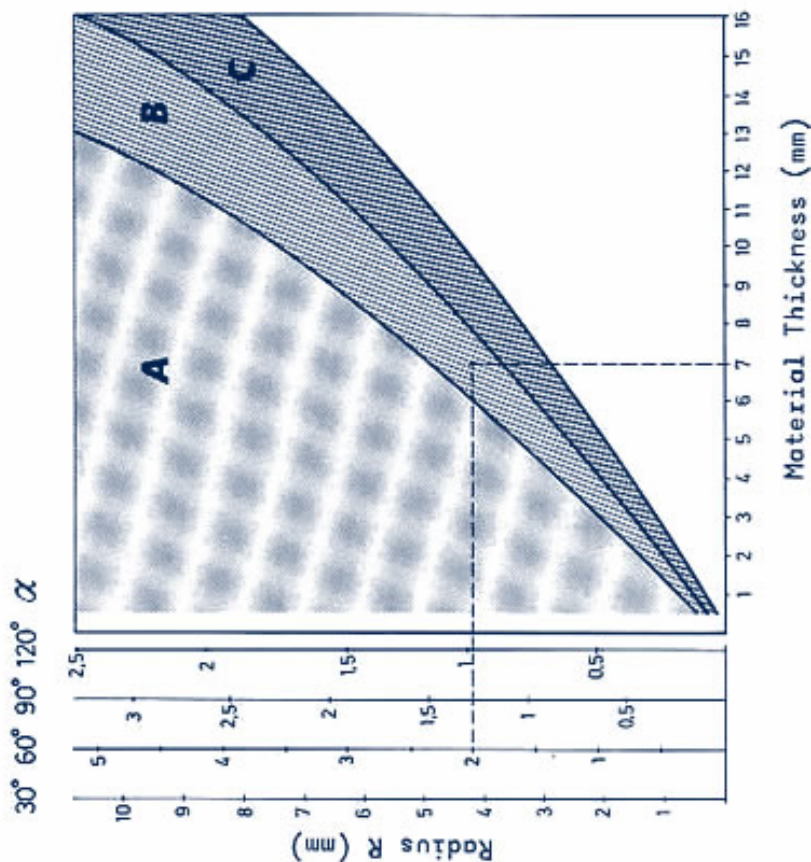
Příloha III Určení velikosti vnitřního a vnějšího rádiusu u vystřihované součásti [11]

The following diagrams show the recommended design radii. They are divided into three ranges, depending on part difficulty:

- A) simple - very long tool life
- B) medium - long tool life
- C) difficult - satisfactory tool life

For range C), the tensile strength of the material should not exceed 600 N/mm2 (40 tsi).  
For values outside the range C), the tool life drops considerably.

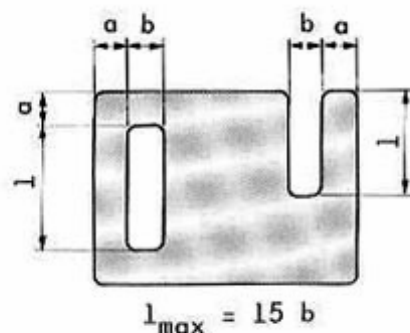
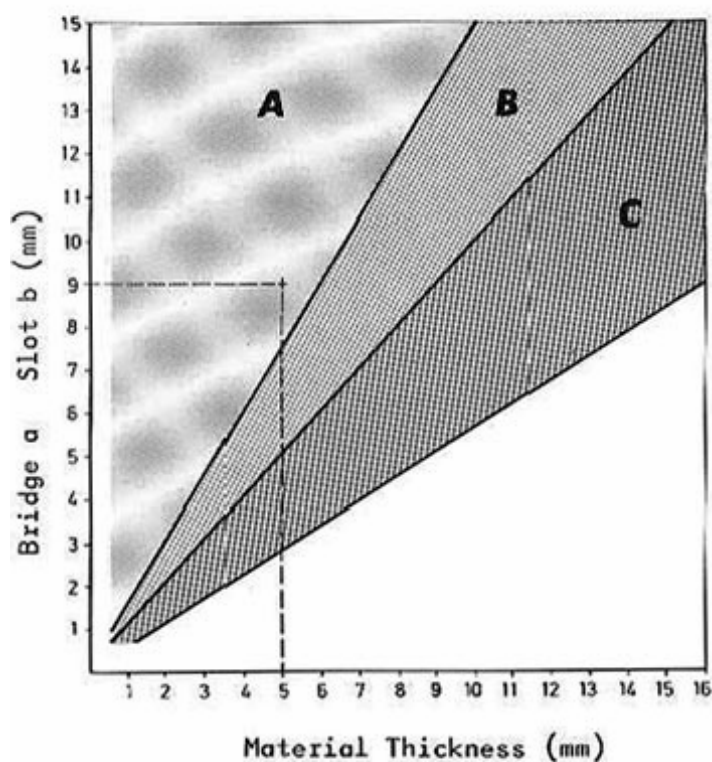
Corner Radius R



Example:

Material Thickness = 7 mm  
 $\alpha = 60^\circ$   
 $R = 2$  mm  
Range B

## Příloha IV Určení velikosti minimálního průměru a minimální šířky drážky [11]

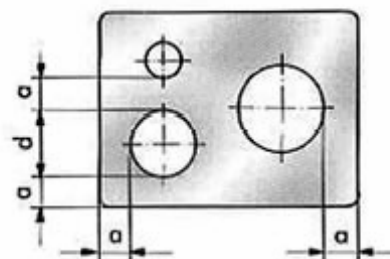
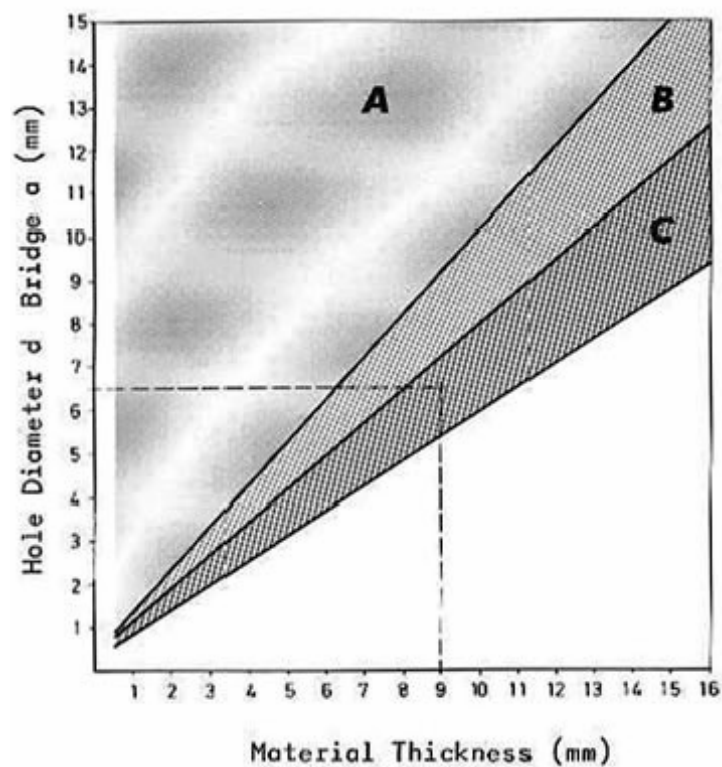
Bridge and SlotExample:

Material Thickness = 5 mm

 $a$  or  $b$  = 9 mm

Range A

- A) Best tool life
- B) Good tool life
- c) Satisfactory tool life

Hole Diameter and BridgeExample:

Material Thickness = 9 mm

 $a$  or  $d$  = 6,5 mm

Range C

Příloha V Určení velikosti minimálního modulu ozubení [11]

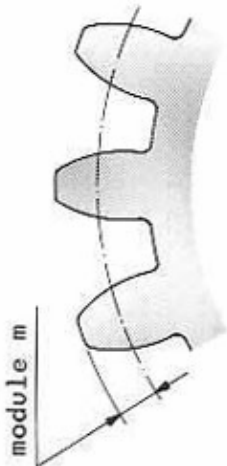
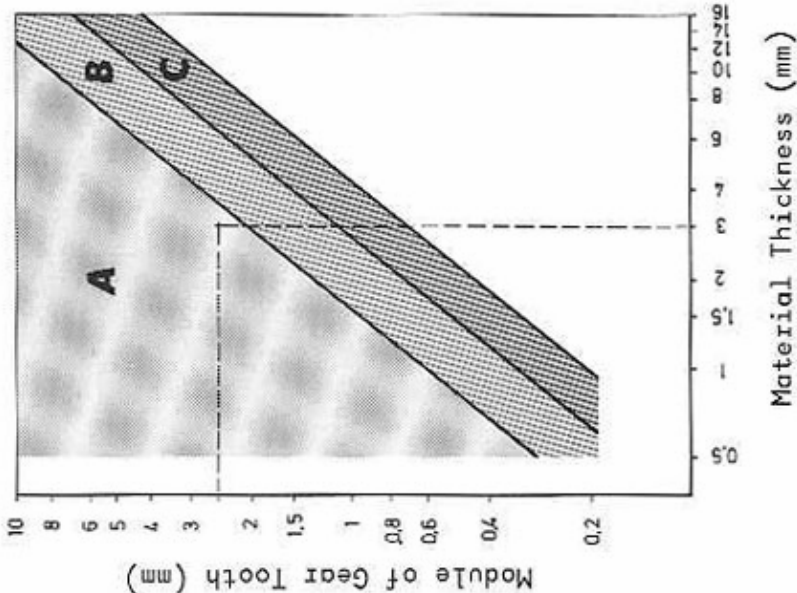
For a gear form to be useful it must be:

- 1) Accurate
- 2) Perpendicular
- 3) Smooth

Fine blanking is the only metal stamping process that can produce a gear in a single operation.

The table below shows the design limits for gear teeth.

Module of Gear Tooth



Example:

Material Thickness = 3 mm  
Module = 2,5 mm  
Range A

## Příloha VI Porovnání technologie přesného stříhání s ostatními technologiemi [11]

This table shows how Fineblanking fits in with other manufacturing processes. Each part is unique, but in general Fineblanking will hold tolerances of  $\pm .0005$  if necessary.

[illegible]



## Příloha VII Přehled materiálů vhodných pro přesné stříhání [11]

**Steels**

The different kinds of steel used for fineblanking can be divided in four groups:

Group of Steel	Material	C %	Cr %	Mo%	Mn%
1	Low Carbon	max. 0.1	-----	----	----
2	Unalloyed Carbon Steel	0.12 to 1.00	----	----	----
3	Alloyed Steels	0.15 to 0.20	max. 2.00	max. 0.30	max. 2.00
4	Stainless Steels	max. 0.15	max. 18.00	----	max. 18.00

**Group 1**

Low carbon steels are the most suitable for fineblanking and are usually processed without any special heat treatment.

**Group 2**

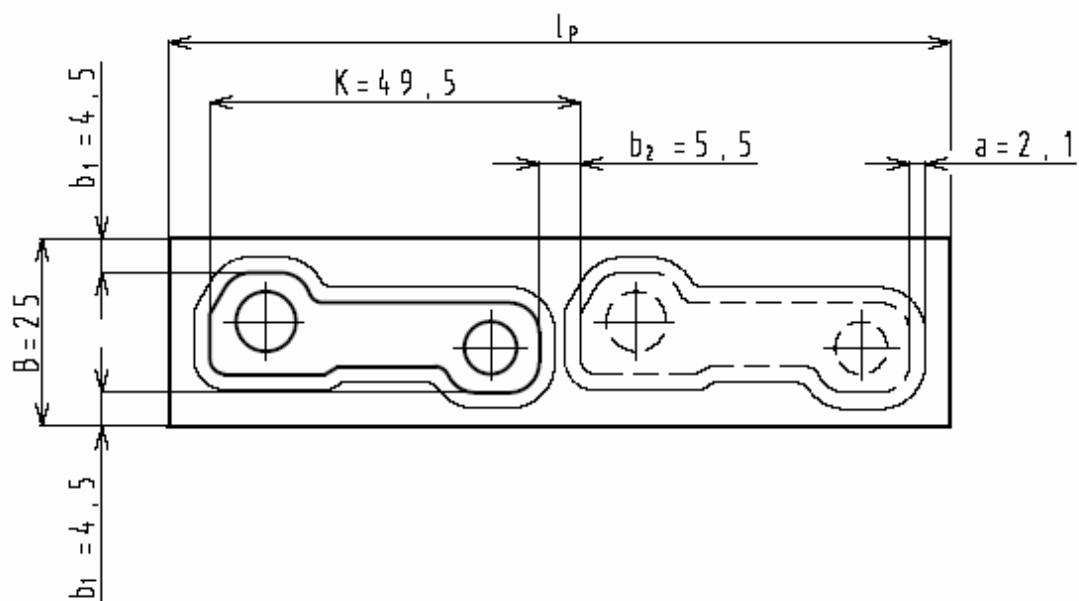
Unalloyed steels can be fineblanked with a carbon content of up to 1 % with a spheroidal cementite structure (90 - 100 %). If the carbon content exceeds 0.1 %, a heat treatment is necessary to achieve clean sheared edges.

**Groups 3 + 4**

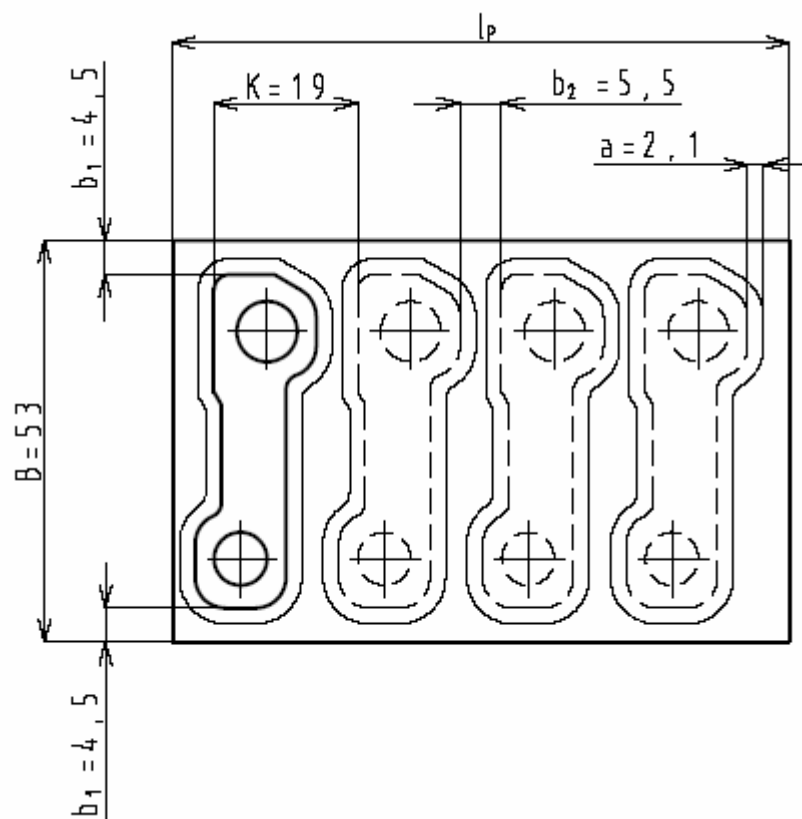
Alloyed steels also need a structure with well formed carbides. To avoid tears, the geometrical shape of the part should not be too complex.

For fineblanking cold or hot rolled steels are used. If necessary, cold rolled stock can be rolled to a higher strength after annealing. The scale on hot rolled material has to be removed by pickling.

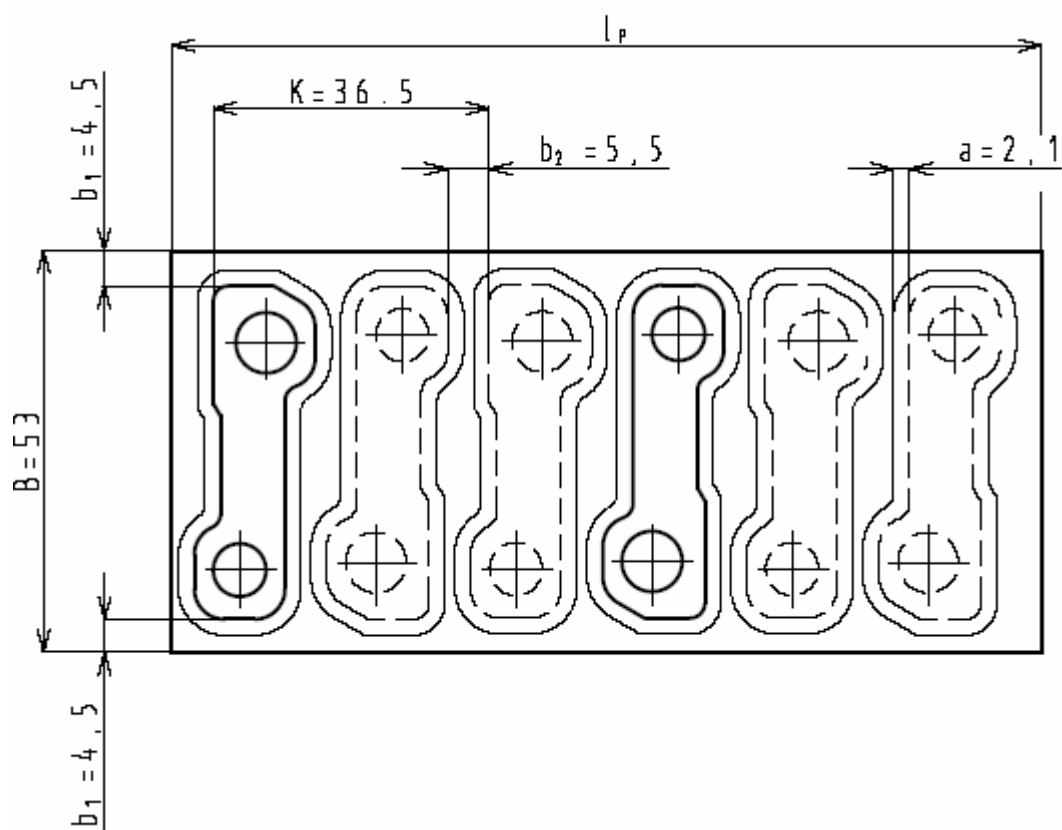
Příloha VIII Nástříhový plán I



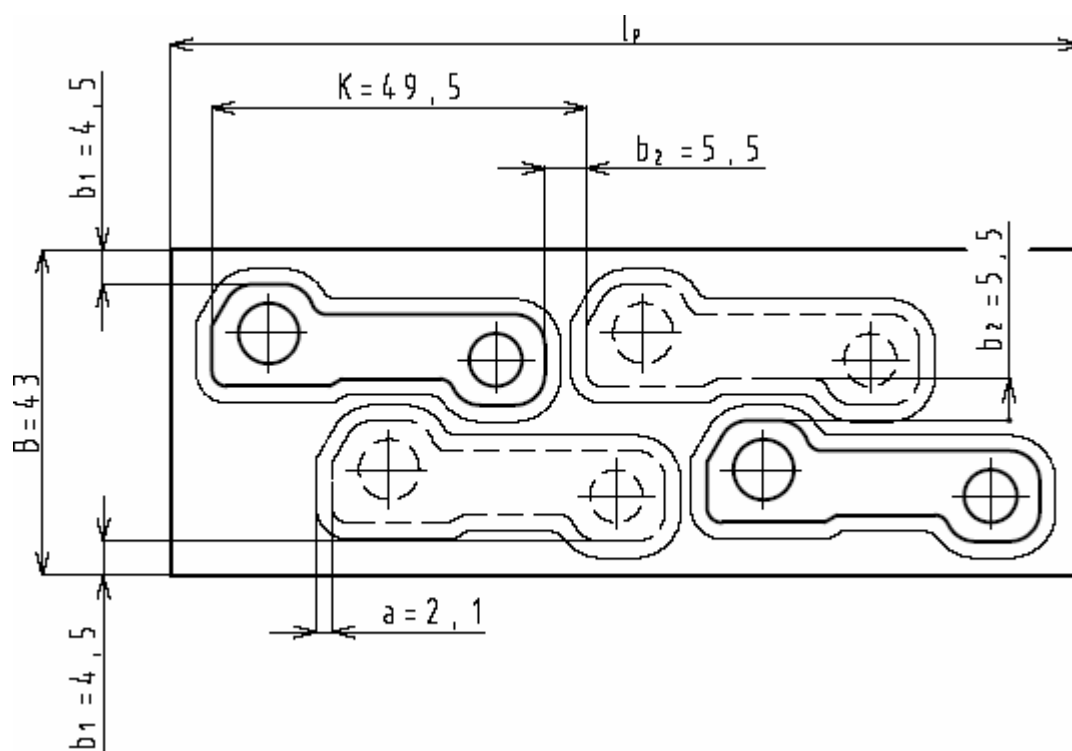
Příloha IX Nástříhový plán II



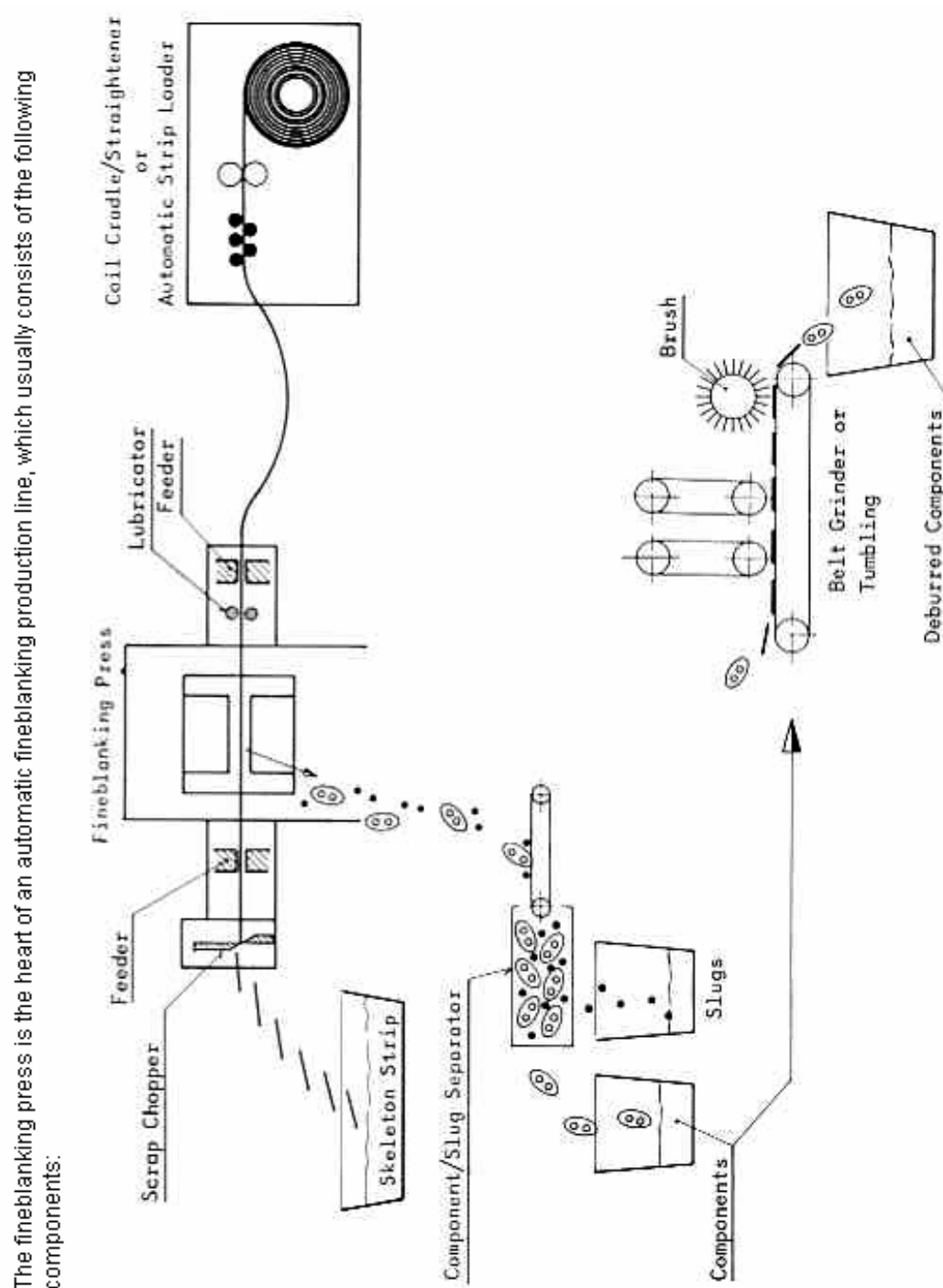
Příloha X Nástříhový plán III



Příloha XI Nástříhový plán IV



Příloha XIII Schéma linky [11]



## Příloha XIV Výpočet plochy zadané součásti

Celková plocha součásti S se skládá z dílcích ploch S1 a S9

– výpočet dílčí plochy S1:

$$S1 = a \cdot b - (S2 + S3 + 2 \cdot S4) =$$

$$S1 = a \cdot b - \left[ \frac{\pi \cdot d^2}{4} + e \cdot c + 2 \cdot \left( R^2 - \frac{\pi \cdot R^2}{4} \right) \right] =$$

$$S1 = 12 \cdot 28,5 - \left[ \frac{\pi \cdot 7^2}{4} + 3,5 \cdot 16,4 + 2 \cdot \left( 4^2 - \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \right) \right] =$$

$$S1 = 239,25 \text{ mm}^2$$

– výpočet dílčí plochy S9.

$$S9 = f \cdot g - (S5 + S6 + S7 + S8) =$$

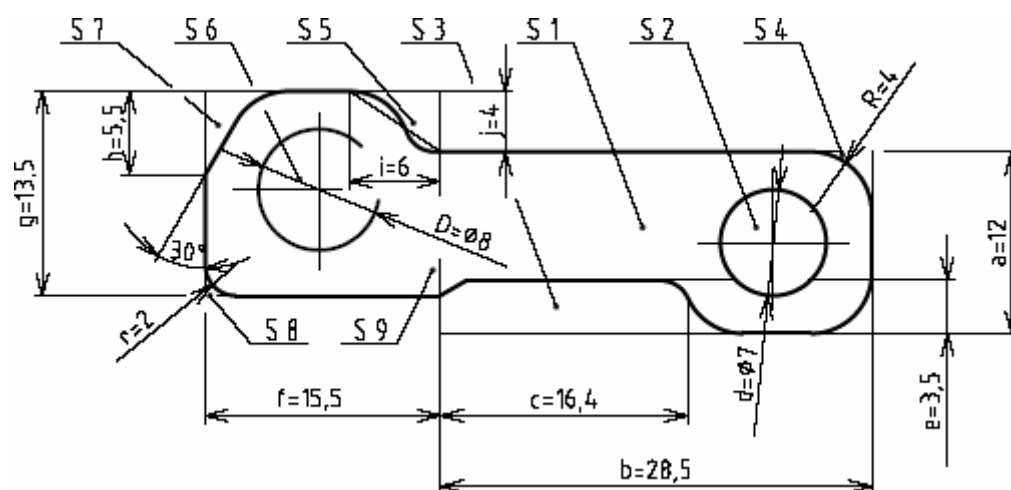
$$S9 = f \cdot g - \left[ \frac{j \cdot i}{2} + \frac{\pi \cdot D^2}{4} + \frac{h^2 \cdot \tan 30^\circ}{2} + \left( r^2 - \frac{\pi \cdot r^2}{4} \right) \right] =$$

$$S9 = 15,5 \cdot 13,5 - \left[ \frac{4 \cdot 6}{2} + \frac{\pi \cdot 8^2}{4} + \frac{5,5^2 \cdot \tan 30^\circ}{2} + \left( 2^2 - \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \right) \right] =$$

$$S9 = 137,39 \text{ mm}^2$$

– výpočet plochy S:

$$S = S1 + S9 = 239,25 + 137,39 = \underline{\underline{376,64 \text{ mm}^2}}$$



## Příloha XV Výpočet délky křivky stříhu

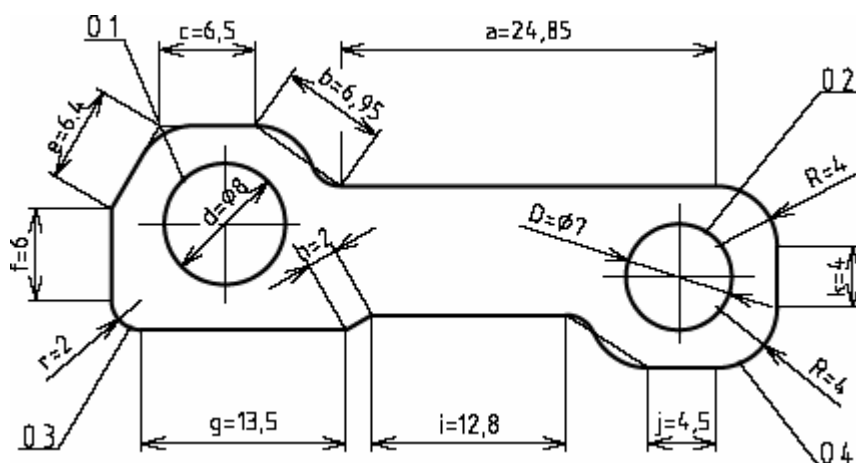
– délka křivky stříhu  $l$  se rovná:

$$l = O1 + O2 + O3 + 2 \cdot O4 + a + 2 \cdot b + c + e + f + g + h + i + j + k =$$

$$l = \pi \cdot d + \pi \cdot D + \frac{\pi \cdot r}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot R}{2} + a + 2 \cdot b + c + e + f + g + h + i + j + k =$$

$$l = \pi \cdot 8 + \pi \cdot 7 + \frac{\pi \cdot 2}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 4}{2} + 24,85 + 2 \cdot 6,95 + 6,5 + 6,4 + 6 + 13,5 + 2 + 12,8 + 4,5 + 4 =$$

$$l = \underline{\underline{157,28\text{mm}}}$$



## Příloha XVI Výpočet délky nátláčné hrany

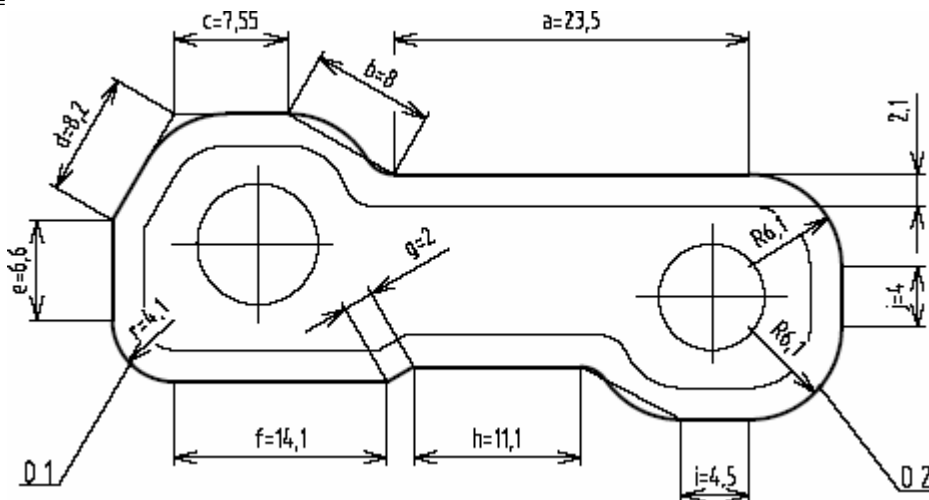
– délka nátláčné hrany  $L$  se rovná:

$$L = O1 + 2 \cdot O2 + a + 2 \cdot b + c + d + e + f + g + h + i + j =$$

$$L = \frac{\pi \cdot r}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot R}{2} + a + 2 \cdot b + c + d + e + f + g + h + i + j =$$

$$L = \frac{\pi \cdot 4,1}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 6,1}{2} + 23,5 + 2 \cdot 8 + 7,55 + 8,2 + 6,6 + 14,1 + 2 + 11,1 + 4,5 + 4 =$$

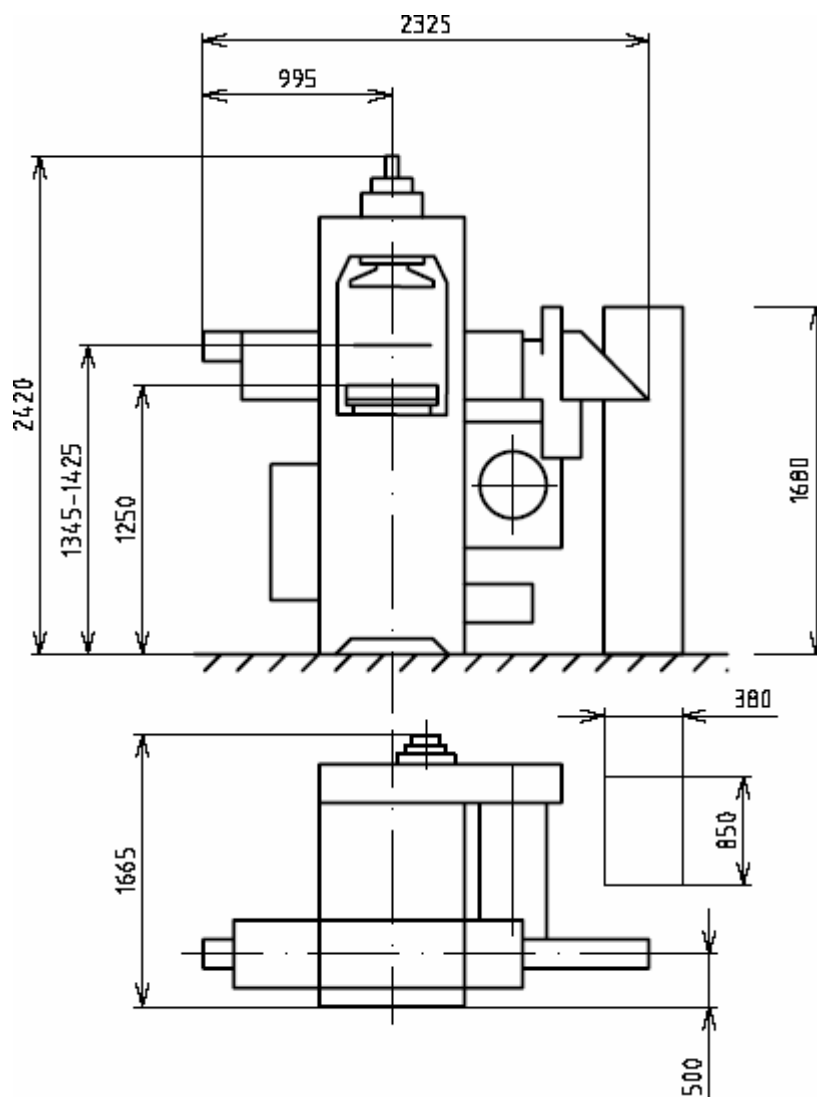
$$L = \underline{\underline{123,15\text{mm}}}$$



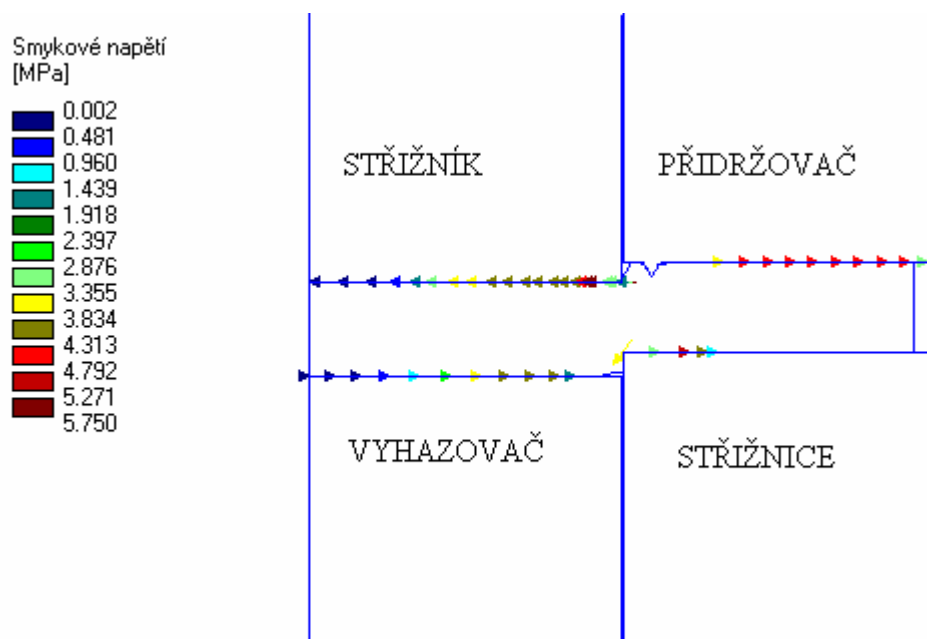
## Příloha XVII Technické údaje odvíjecího a rovnacího zařízení FTW 76 [17]

Typ	FTW 76
Výrobce	firma Feintool
Maximální průměr svitku	1200 mm
Maximální hmotnost svitku	1500 kg
Maximální šířka svitku	500 mm
Tloušťka svitku	1 – 5 mm
Odvíjecí rychlost	2,7 – 16 m/min
Délka	1400 mm
Šířka	1200 mm
Výška	2200 mm
Hmotnost	1150 kg

## Příloha XVIII Prostorové uspořádání lisu GKP – F 100 [17]



## Příloha XXVI Průběh smykových napětí



## Příloha XXVII Průběh vektoru toku materiálu

